

EDUCAȚIE PROFESIONALĂ AGRICOLĂ BAZATĂ PE CLIMĂ

Editor conf. dr. Iuliana MOTRESCU

editura pim

EDUCAȚIE PROFESIONALĂ AGRICOLĂ BAZATĂ PE CLIMĂ

Editor: Conferențiar dr. Iuliana MOTRESCU

editura pim
Iași, 2024

CLIMATE FOCUSED AGRICULTURAL VOCATIONAL EDUCATION

editura pim
Editură acreditată CNCSIS – 66/2010
Strada Smârdan, nr. 76 , Iaşi – 700399
Tel.: 0730.086.676, 0732.430.407
email: tipografiaiasi@pimcopy.ro
www.pimcopy.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
Educaţie profesională agricolă bazată pe climă / ed.: conf. dr. Iuliana Motrescu. - Iaşi: PIM, 2024
ISBN 978-606-13-8407-5

I. Motrescu, Iuliana (ed.)

63
551

Conținutul prezentului material reprezintă responsabilitatea exclusivă a autorilor, iar Comisia Europeană nu este responsabilă pentru modul în care va fi folosit conținutul informației.

Funded by the European Union

1. Sisteme de Cultură Rezistente la Schimbările Climatice

Jaroslav Bernas, Petr Konvalina, Jaroslav Neumann

Cuprins

- Introducere, parametrii și avantaje ale sistemelor de culturi rezistente la schimbările climatice
- Schimbările climatice și impactul lor general asupra agriculturii
- Strategii de agricultură durabilă și sisteme de culturi rezistente la schimbările climatice
- Sisteme de lucrări în cadrul culturilor rezistente la schimbările climatice și efectul rotației culturilor, a culturilor de acoperire și celor premergătoare
- Utilizarea culturilor marginale în scopul producției alimentare
- Culturi alternative pentru producerea de biomasă
- Culturile intercalate și agroforestiere
- Servicii ecosistemice în cadrul sistemelor de culturi rezistente la schimbările climatice

Introducere

Activitățile umane, în special arderea combustibililor fosili și modificarea destinației terenurilor, conduc la schimbările climatice actuale, crescând concentrațiile de gaze cu efect de seră din atmosferă. Acest lucru influențează temperatura și precipitațiile, afectând agricultura, în special în regiunile tropicale. Schimbările climatice reprezintă o amenințare gravă pentru agricultură și securitatea alimentară. Pe măsură ce ne apropiem de o populație globală de 9,8 miliarde până în 2050, scăderea productivității principalelor culturi accentuează îngrijorările. Agricultura se confruntă cu impactul schimbărilor climatice la nivel mondial, potențial anulând avansurile în îmbunătățirea culturilor și practicile de management. Instabilitatea randamentelor culturilor poate avea repercusiuni economice. Fertilitatea solului, sechestrarea carbonului, activitatea microbiană și creșterea culturilor sunt în scădere din cauza strategiilor și utilizării intensive de cultivare în general. De asemenea, seceta, precipitațiile intense, temperaturile mai ridicate, contaminarea solului și existența mai multor dăunători și patogeni devin probleme frecvente. Schimbările în modelele de temperatură și precipitații fac culturile mai susceptibile la stresurile biotice și abiotice. Practicile de monocultură în agricultura modernă cresc vulnerabilitatea culturilor la boli și dăunători. Exemplele istorice evidențiază riscurile diversității limitate a culturilor. În contrast, practicile agricole tradiționale persistă în multe țări în curs de dezvoltare, concentrându-se pe biodiversitate și inputuri minime. Accentul pe agricultura organică, diversificare și minimizarea inputurilor crește, promovând durabilitatea și reziliența agroecosistemelor.

Diversificarea speciilor cultivate, culturile agroforestiere și ajustarea generală a practicilor de cultivare sunt strategii vitale. Amprenta agriculturii asupra planetei este semnificativă, terenurile arabile acoperind aproximativ 12% din suprafața Pământului. Strategiile de agricultură durabilă, cum ar fi reducerea lucrărilor de arat, joacă un rol critic în menținerea biodiversității în cadrul agroecosistemelor. Agricultura rezistentă la schimbările climatice și sistemele de cultură rezistente la climă vizează utilizarea durabilă a resurselor naturale pentru cultivare, concentrându-se pe productivitatea pe termen lung și adaptarea la fluctuațiile climatice. Rezistența la schimbările climatice implică robustețea, adaptabilitatea și capacitatea de transformare în practicile agricole, promovând sănătatea ecosistemelor și biodiversitatea. Sistemele de cultură rezistente la schimbările climatice au

potențialul de a rezista la factori de stres precum seceta și dăunătorii și joacă un rol critic în agricultura globală. Multe tehnologii și abordări agricole care se ocupă de varietăți de culturi rezistente la secetă sau la dăunători oferă deja soluții în acest sens. Cu toate că culturile rezistente la schimbările climatice oferă numeroase beneficii, fermierii mici ar putea ezita să le adopte din cauza aversiunii la riscuri și a preocupărilor legate de profitabilitate. Schimbările climatice afectează profund agricultura, securitatea alimentară și mediul înconjurător. Pentru a aborda aceste provocări, adoptarea sistemelor de cultură rezistente la schimbările climatice, dezvoltarea culturilor rezistente la schimbările climatice și conservarea biodiversității sunt pași vitali.



Introducere, parametrii și avantaje ale sistemelor de culturi rezistente la schimbările climatice

Schimbările climatice au redus productivitatea principalelor culturi în multe regiuni ale lumii [1], ceea ce ar putea provoca mari probleme până în anul 2050, când populația de pe Pământ ar trebui să ajungă la aproximativ 9,8 miliarde. Cu această estimare a populației peste 30 de ani și productivitatea agricolă în scădere, fermierii vor fi provocați să asigure securitatea alimentară globală [2], iar dacă fermierii doresc să facă față creșterii viitoare a cererii de produse de carne și lactate, când aceste cereri vor duce inevitabil la o utilizare și mai mare a resurselor naturale care pot afecta clima, ei vor trebui să-și ajusteze gestionarea fermelor, de exemplu, datele de semănat, utilizarea culturilor intermediare și utilizarea unor culturi mai rezistente la un anumit climat [3].

Niciun sistem agricol nu este imun la schimbările climatice. Chiar dacă există plante îmbunătățite genetic și practici de management care oferă fermierilor îmbunătățiri în randamente și durabilitate, schimbările climatice pot anula ușor tot ceea ce am menționat mai sus [4]. De exemplu, variabilitatea climatică este principala cauză a schimbărilor în randamentele din vestul și centrul Statelor Unite [4]. Instabilitatea randamentelor poate duce la fluctuații economice pentru consumatori și producători. Până la urmă, acest lucru poate fi observat privind în urmă 10 ani, când seceta din 2012 a cauzat o creștere cu 53% a prețului porumbului față de prețul mediu din ultimii 5 ani [5].

În acest moment, putem observa în întreaga lume o scădere a fertilității solului, precum și a sechestrării carbonului, a activității microbiene și creșterii culturilor. Acestea și alte efecte negative asupra mediului nostru sunt susținute de scăderea diversității și de intensitatea ridicată a inputurilor pe care fermierii le introduc în agroecosisteme. O altă problemă, una la fel de îngrijorătoare, este creșterea prevăzută a apariției secetei, a precipitațiilor intense, a temperaturilor mai ridicate și a contaminării solurilor cu săruri și metale grele; toate acestea vor duce inevitabil la o creștere a apariției dăunătorilor și patogenilor, care își vor pune amprenta asupra randamentul culturilor [6].

Schimbările climatice afectează în mod semnificativ agricultura și producția alimentară. Condițiile climatice precum vântul, seceta, temperaturile ridicate și inundațiile au un impact major asupra siguranței alimentare și reducerea sărăciei. Cu toate acestea, acest lucru este valabil în special în comunitățile rurale dependente de apă. Cu schimbările climatice viitoare, se așteaptă randamente mai scăzute de la culturile de bază datorită productivității mai mici [7].

Agricultura rezilientă la climă

Agricultura rezistentă la climă reprezintă o formă de agricultură care își propune utilizarea durabilă a resurselor naturale de care dispunem prin sistemele de producție agricolă. Scopul principal este de a crește productivitatea fermelor pe termen lung și în același timp de a menține veniturile fermei în condițiile variabilității climatice.

Rezistența la climă este capacitatea de a ține pasul cu structurile agricole asigurând în același timp funcțiile acestora în condițiile climatice în continuă schimbare. Fermierii pot sprijini rezistența la climă îmbunătățind robustețea, adaptabilitatea și capacitatea de transformare a practicilor agricole [8]. Prin robustețe se înțelege capacitatea sistemului agricol de a face față extremelor climatice. Prin adaptabilitate se înțelege capacitatea de a schimba practicile agricole, cum ar fi marketingul și gestionarea riscurilor, pentru a reduce impactul extremelor climatice, menținând în același timp structura sistemului. Prin transformabilitate se înțelege capacitatea de a schimba structura și funcția sistemului ca răspuns la schimbările climatice [4]. În ansamblu, scopul îmbunătățirii rezistenței la climă nu include doar creșterea productivității culturilor în timpul schimbărilor climatice, ci și îmbunătățirea ecosistemelor și a biodiversității acestora, minimizând degradarea mediului înconjurător [7].

Culturile rezistente la climă

Culturile rezistente la climă (CRC-uri) au scopul de a face față stresului biotic și abiotic, de exemplu, seceta, în locuri unde există numeroase modalități de a lupta împotriva secetei prin gestionarea apei. De exemplu, tehnologii prietenoase cu apa precum patul crescut irigat în șanțuri, recoltarea apei de ploaie, metoda culturilor de acoperire, microirigația, etc. Atunci când apare seceta odată cu temperaturile ridicate, o modalitate relativ sigură de a obține randamente satisfăcătoare este utilizarea diferitelor tipuri de tehnologii bazate pe estimarea apei necesare diferitelor culturi, adoptarea metodelor de conservare a apei, modificarea programelor de fertilizare și udare, etc. De exemplu, soiurile rezistente la secetă de orez cultivate în India au produs aproximativ cu 1t/ha mai mult decât soiurile obișnuite în condiții de stres de secetă. Orezul nu este singura cultură care este afectată în mare măsură de secetă sau inundații. Porumbul și grâul sunt, de asemenea, sensibile la aceste stresuri.

Seceta este responsabilă pentru pierderea de până la 20% din producția de porumb. Soiurile de porumb tolerante la secetă pot produce până la 2 – 3t/ha mai mult decât soiurile obișnuite care vor produce până la 1t/ha în aceleași condiții. Un alt motiv pentru care au fost cultivate CRC-urile este rezistența la apă. De exemplu, introducerea soiurilor de mazăre, soia, grâu și sorg în India a condus la o creștere semnificativă a producțiilor. Este important de menționat că o mare parte din teritoriul unde sunt cultivate aceste culturi suferă de scufundare datorită inundațiilor, iar aproape 80% din teritoriul de cultivare a orezului din India de Est se confruntă cu exces de apă sau secetă, în funcție de modelul de precipitații și astfel fermierii sunt complet dependenți de mediu. Prin utilizarea unui soi de orez tolerant la inundații, care poate gestiona până la 17 zile de scufundare completă în apă și cu un randament de 3t/ha, fermierii pot reduce dependența de factorii de mediu.

Intensive	Extensive
Advantages	
Rational land use	Preservation of natural landscape
Global food security	Preservation of wildlife habitats
Cheaper food products	Better quality and safer food products
Growing revenues for food export	More people involved in agricultural activities
Faster work using the modern equipment	Government supported activity
Doesn't need a lot of manual work	Lower additional cost (no need to buy mineral and other chemical fertilisers)
Disadvantages	
Technical equipment operation cost	More expensive food products
Additional cost of fertilisers, chemicals	More care for crops and animals grown
Capital replaces the labour, less people are involved in agricultural activities	More hand work needed
Need for specialists with higher qualification	Large agricultural land areas needed
Damage to environment, landscape, soil, water	Lower productivity

Tabelul 1. Avantajele și dezavantajele activităților agricole intensive și extensive [10].

Există mai multe motive pentru care se pot utiliza CRC-urile, cum ar fi temperaturile ridicate, sarea și perioadele de vegetație mai scurte, precum și pentru a face față dăunătorilor. Un alt scop pentru care au fost cultivate CRC-urile este de a îmbunătăți retenția apei în sol, a calității solului și reducerea eroziunii. Culturile rezistente la climă (CRC-uri) au o toleranță mai mare la stresurile biotice și abiotice în comparație cu culturile cultivate în mod obișnuit. Scopul principal al acestor culturi fiind de a menține randamentul în condiții de stres în comparație cu culturile cultivate în mod obișnuit. Datorită

proprietăților pe care le au CRC-urile, fermierii vor avea mijloacele de a-și adapta gestionarea fermei și de a menține calitatea, randamentul și stabilitatea financiară. Sistemele de cultură rezistentă la climă nu se referă doar la utilizarea soiurilor de culturi rezistente la apă, temperatură sau sare, ci depășesc problema biodiversității, a sistemelor alternative de agricultură, agriculturii conservaționiste, și altele.

În ciuda beneficiilor pe care le oferă CRC-urile, adoptarea lor de către producătorii la scară mică trebuie menționată, dar în unele sisteme de cultură, aceasta nu poate fi atât de mare pe cât s-ar aștepta. Din cauza riscului ridicat și a preocupărilor legate de rentabilitate cauzate de trecerea la modalități noi și diferite de gestionare a unui agroecosistem, fermierii sunt mai predispuși să fie timizi în acceptarea și încercarea de metode diferite, chiar dacă știu că aceste metode sunt mai durabile și mai prietenoase cu mediul înconjurător decât abordarea lor actuală.

Sisteme agricole alternative

Tipul diversificării	**Natura diversificării**	**Beneficii**
Creșterea diversității structurale	Diversifică culturile dintr-un câmp	Suprimarea dăunătorilor
Diversitatea genetică în monocultură	Cultivarea de soiuri mixte ale unei specii într-o monocultură	Suprimarea dăunătorilor Creșterea stabilității producției
Câmp de diversitate cu vegetație necultivată	Cultivarea benzilor de buruieni sau a bancurilor de vegetație în și de-a lungul culturilor	Suprimarea dăunătorilor
Rotația culturilor	Diversitate temporală prin rotația culturilor	Suprimarea bolilor Creșterea producției
Policulturi	Cultivarea a două sau mai multe specii de culturi și varietăți sălbatice în cadrul câmpului, diversitatea spațială și temporală a culturilor	Suprimarea bolilor Atenuarea schimbărilor climatice Creșterea producției
Culturi agroforestiere	Cultivarea culturilor și a copacilor împreună, diversitate spațială și temporală	Suprimarea dăunătorilor Atenuarea schimbărilor climatice
Peisaje mixte	Dezvoltarea de peisaje diversificate la scară mai mare, cu ecosisteme multiple	Suprimarea dăunătorilor Creșterea producției

Tabelul 2. Exemple de diversificare în sistemele agricole și beneficiile potențiale pentru agricultori în contextul schimbărilor climatice, preluate din [11].

În prezent, există câteva modalități prin care fermierii pot gestiona terenurile lor în afara practicilor convenționale. De exemplu, ei pot utiliza sisteme agricole alternative care sunt mai bune decât agricultura convențională în ceea ce privește sistemul de cultură rezistent la climă [12]. Sistemele alternative de gestionare pot include agricultura fără lucrări de arat, practici de arat reduse, rotația culturilor, utilizarea culturilor de acoperire, reducerea utilizării inputurilor anorganice, etc. Cercetările arată că aceste sisteme alternative de agricultură ar putea avea potențialul de a reduce poluarea mediului și emisiile de gaze cu efect de seră, în timp ce îmbunătățesc calitatea apei și a solului [13]. Cunoștințele actuale sugerează că schimbările climatice vor afecta factorii biotici (dăunători, patogeni) și abiotici (radiația solară, temperatura apei, apa) în producția agricolă, ceea ce va duce la amenințarea sustenabilității și producției culturilor [11]. De aceea, fermierii ar trebui să se concentreze și pe biodiversitate și să încerce să-și diversifice agroecosistemele, deoarece sistemele mai diverse se vor descurca mai bine în medii schimbătoare. Beneficiile potențiale pentru fermieri sunt prezentate în Tabelul 2.

Agricultura de reconversie

Agricultura de reconversie este definită de FAO (Organizația pentru Alimentație și Agricultură) ca fiind o abordare a gestionării agroecosistemelor în vederea unei productivități îmbunătățite și susținute, sporind în același timp profiturile și securitatea alimentară și conservând și îmbunătățind resursele și mediul înconjurător. Trei principii de bază constituie, alături de alte practici complementare, agricultura de conversie [14]:

- Principiul 1 se referă la o lucrare minimă a solului sau la semănatul direct, care merge mână în mână cu practica însămânțării fără semănat și a însămânțării directe a materialului săditor în solul nelucrat. Acest lucru determină o perturbare minimă a solului în urma oricărei operațiuni.

- Principiul 2 se referă la menținerea unei acoperiri permanente cu mulci la suprafața solului, ceea ce înseamnă că fermierul trebuie să pună în aplicare reținerea biomasei vegetale pe câmp.

- Principiul 3 se referă la diversificarea speciilor de culturi, ceea ce presupune utilizarea culturilor anuale și perene, rotația sistemelor de cultură și o combinație corectă de culturi de leguminoase și neleguminoase.

Country	CA area 2008/09	CA area 2013/14	CA area 2015/16
Spain	650.00	792.00	900.00
Italy	80.00	380.00	283.92
Finland	200.00	200.00	200.00
France	200.00	200.00*	300.00
Germany	354.00	200.00	146.00
United Kingdom	25.00	150.00	362.00
Slovakia	10.00	35.00	35.00#
Portugal	28.00	32.00	32.00#
Switzerland	9.00	17.00	17.00#
Hungary	8.00	5.00	5.00
Ireland	0.10	0.20	0.20
Moldova	–	40.00	60.00
Greece	–	24.00	24.00#
Netherlands	–	0.50	7.35
Belgium	–	0.27	0.27
Romania	–	–	583.82
Poland	–	–	403.18
Estonia	–	–	42.14
Czech Republic	–	–	40.82
Austria	–	–	28.33
Lithuania	–	–	19.28
Croatia	–	–	18.54
Bulgaria	–	–	16.50
Sweden	–	–	15.82
Latvia	–	–	11.34
Denmark	–	–	2.50
Slovenia	–	–	2.48
Luxemburg	–	–	0.44
Cyprus	–	–	0.27
Total	**1564.10**	**2035.97**	**3557.20**
% difference		**30.1 since 2008/09**	**127.4 since 2008/09**
			74.7 since 2015/16

Tabelul 3. Extinderea adoptării agriculturii de conversie (`000 ha) în Europa în 2008/09, 2013/14 și 2015/16 [14].

Aceste trei principii stau la baza agriculturii de conversie, ceea ce înseamnă că dacă un fermier aplică unul sau două dintre aceste principii în agroecosistemul său, el nu respectă agricultura de conversie. Scopul agriculturii de conversie este de a crește biodiversitatea biologică și procesele biologice în agroecosisteme. Lucrările agricole nu ar trebui să fie utilizate sau ar trebui să fie reduse la un minim absolut. Intrările externe, cum ar fi îngrășămintele anorganice și organice, ar trebui aplicate în mod optim și în cantități care să nu afecteze procesele biologice din sol [14].

Respectând toate principiile agriculturii de conversie, fermierii vor putea îmbunătăți gestionarea globală a fermei, mai ales în zonele cu precipitații reduse. Cu ajutorul altor practici bine cunoscute, cum ar fi managementul integrat al dăunătorilor, al apei și al nutrienților, agricultura de conversie este

sistemul de bază pe care fermierii ar trebui să-l aleagă dacă doresc să-și intensifice producția menținând-o sustenabilă [15]. Dezvoltarea agriculturii de conversie în Europa este rezumată în Tabelul 3. Principalele motive pentru a accepta agricultura de conversie sunt o economie agricolă mai bună datorită reducerii intrărilor, cum ar fi apa, îngrășămintele, substanțele agrochimice, timpul și combustibilul, posibilitățile tehnice flexibile pentru aplicarea îngrășămintelor și controlului buruienilor, producții egale sau mai mari, o stabilitate mai mare a recoltelor [16], o protecție mai mare a solului împotriva eroziunii datorate apei și de vântului [17], o retenție mai mare a îngrășămintelor și a apei cu o gestionare mai bună a acesteia în zonele afectate de secetă [18].

Bibliografie

1. Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature 529, 84–87.
2. Pradhan, P., Fischer, G., van Velthuizen, H., Reusser, D. E., Kropp, J. P. (2015). Closing yield gaps: how sustainable can we be? PloS one, 10(6).
3. Smith, S. M. (2012). Food Crisis in the Horn of Africa: Progress Report, July 2011-July 2012. Oxfam International.
4. Hatfield, J. L., Antle, J., Garrett, K. A., Izaurralde, R. C., Mader, T., Marshall, E., Ziska, L. (2020). Indicators of climate change in agricultural systems. Climatic Change, 163(4).
5. Boyer, J. S., Byrne, P., Cassman, K. G., Cooper, M., Delmer, D., Greene, T., Gaffney, J. (2013). The US drought of 2012 in perspective: a call to action. Global Food Security, 2(3), 139-143.
6. Long, S. P., Marshall-Colon, A., Zhu, X. G. (2015). Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. Cell, 161(1), 56-66.
7. Jain, M., Naeem, S., Orlove, B., Modi, V., DeFries, R. S. (2015). Understanding the causes and consequences of differential decision-making in adaptation research: adapting to a delayed monsoon onset in Gujarat, India. Global Environmental Change, 31, 98-109.
8. Meuwissen, M. P., Feindt, P. H., Spiegel, A., Termeer, C. J., Mathijs, E., De Mey, Y., Reidsma, P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. Agricultural Systems, 176.
9. Peterson, C. A., Eviner, V. T., Gaudin, A. C. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. Agricultural Systems, 162, 19-27.
10. Novikova, A., Startiene, G. (2018). Analysis of farming system outputs and methods of their evaluation. Research for rural development, 2.
11. Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. BioScience, 61(3), 183-193.
12. Michler, J. D., Baylis, K., Arends-Kuenning, M., Mazvimavi, K. (2019). Conservation agriculture and climate resilience. Journal of environmental economics and management, 93, 148-169
13. Behnke, G. D., Zuber, S. M., Pittelkow, C. M., Nafziger, E. D., Villamil, M. B. (2018). Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, 261, 62-70.
14. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2019). Global spread of conservation agriculture. International Journal of Environmental Studies, 76(1), 29-51.
15. Kassam, A. H., Basch, G. (2014). Sustainable soil management is more than what and how crops are grown. In Rolul agriculturii în acordarea serviciilor ecosistemice şi sociale (pp. 230-270).
16. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. International journal of agricultural sustainability, 7(4), 292-320.
17. Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
18. Goddard, T., Zoebisch, M., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A., Sombatpanit, S. (2008). No-till Farming Systems. Special Publication No. 3, World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok, ISBN: 978-974-8391-60–1.
19. Boyer, J. S., Byrne, P., Cassman, K. G., Cooper, M., Delmer, D., Greene, T., Gaffney, J. (2013). The US drought of 2012 in perspective: a call to action. Global Food Security, 2(3), 139-143.
20. Dhankher, O. P., Foyer, C. H. (2018). Climate resilient crops for improving global food security and safety. Plant, Cell & Environment, 41(5), 877-884.

21. Eeswaran, R., Nejadhashemi, A. P., Miller, S. R. (2021). Evaluating the climate resilience in terms of profitability and risk for a long-term corn-soybean-wheat rotation under different treatment systems. Climate Risk Management, 32.
22. Gollin, D., Morris, M., Byerlee, D. (2005). Technology adoption in intensive post-green revolution systems. American Journal of Agricultural Economics, 87(5).
23. Hatfield, J. (2012). Agriculture in the Midwest. US National Climate Assessment Midwest Technical Input Report, 1-8.
24. Lesk, C., Rowhani, P. Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature 529, 84–87.
25. Long, S. P., Marshall-Colon, A., Zhu, X. G. (2015). Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. Cell, 161(1), 56-66.
26. Pradhan, P., Fischer, G., van Velthuizen, H., Reusser, D. E., Kropp, J. P. (2015). Closing yield gaps: how sustainable can we be? PloS one, 10(6).
27. Reyes, L. C. (2009). Making rice less thirsty. Rice Today, 8(3), 12-15.
28. Smith, S. M. (2012). Food Crisis in the Horn of Africa: Progress Report, July 2011-July 2012. Oxfam International.
29. Sonune, S. V., Mane, S. (2018). Impact of climate resilient varieties on crop productivity in NICRA village. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7, 3210-3212.
30. Zaidi, P. H., Srinivasan, G., Cordova, H. S., Sanchez, C. (2004). Gains from improvement for mid-season drought tolerance in tropical maize (Zea mays L.). Field Crops Research, 89(1), 135-152.

Schimbările climatice și impactul general asupra agriculturii

Fenomenul actual al schimbărilor climatice globale este atribuit în principal arderii combustibililor fosili (cărbune, petrol, gaze naturale) și modificării utilizării terenurilor, conducând la mineralizarea materiei organice. Aceste activități, determinate de exploatarea umană a resurselor fosile, defrișări și conversia terenurilor pentru agricultură, au dus la o creștere semnificativă a nivelului de dioxid de carbon (CO_2). Această creștere a concentrației de CO_2 contribuie la încălzirea globală prin împiedicarea reflectării luminii solare, ceea ce face ca mai multă căldură să fie reținută în atmosfera Pământului. În plus, molecule precum metanul (CH_4) și oxidul de azot (N_2O) au un impact și mai mare, metanul având un potențial de încălzire globală de douăzeci de ori mai mare decât CO_2 și potențialul oxidului de azot fiind de până la 300 de ori mai mare [1].

Producția agricolă depinde în mare măsură de condițiile climatice, făcând-o extrem de susceptibilă la efectele schimbărilor climatice. În consecință, schimbări semnificative au fost observate în diverse sectoare agricole în ultimul deceniu, determinate de efectele potențiale ale schimbărilor climatice. Cercetările în acest domeniu se concentrează în principal pe înțelegerea implicațiilor fizice ale schimbărilor climatice asupra culturilor, animalelor și consecințelor economice asociate [2]. Agricultura, datorită dimensiunii și sensibilității sale la parametrii meteorologici, este considerată sectorul cel mai vulnerabil în fața schimbărilor climatice, rezultând în impacturi economice substanțiale. Evenimentele climatice, cum ar fi variațiile de temperatură și precipitații, au o influență semnificativă asupra recoltelor. Regiunile tropicale sunt în general mai afectate de schimbările climatice, deoarece culturile din aceste zone sunt deja mai aproape de intervalele lor optime de temperatură, ceea ce le face mai susceptibile la stresul cauzat de temperaturile ridicate [3].

Agricultura și schimbările climatice sunt interconectate în diverse moduri, deoarece schimbările climatice reprezintă o cauză majoră a stresurilor biotice și abiotice care afectează negativ regiunile agricole. Schimbările climatice influențează activitățile agricole prin modificări ale tiparelor anuale de precipitații, temperaturilor medii, apariției valurilor de căldură, schimbărilor în populațiile de buruieni și dăunători, modificărilor în comunitățile microbiene, fluctuațiilor nivelurilor de CO_2 atmosferic, diminuării stratului de ozon și modificărilor nivelurilor mării [4].

Predicțiile privind tendințele globale viitoare pentru emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură depind în mare măsură de parametri fizici și economici care influențează puternic emisiile totale. Acești parametri includ costul combustibilului, dezvoltarea economică, evoluția numărului de animale, creșterea productivității, noile tehnologii, disponibilitatea apei, defrișările și atitudinile consumatorilor și dieta acestora [1]. Modelele științifice actuale prevăd schimbări semnificative ale mediului cauzate de creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră. Aceste schimbări vor afecta agricultura atât pozitiv, cât și negativ. Creșterea prevăzută a temperaturii globale între 1,4°C și 5,8°C va duce la modificări ale tiparelor de precipitații. Se așteaptă ca evenimentele meteorologice extreme (secete, inundații) să apară mai frecvent. Variațiile sezoniere ale evenimentelor meteorologice pot reprezenta riscuri pentru metodele tradiționale de producție agricolă fie din cauza constrângerilor de apă, fie a surplusului de apă și eroziuni solului. Stabilitatea solului va deveni crucială pentru a stoca apa în profilul acestuia, a rezista evenimentelor meteorologice severe și a minimiza pierderile de sol [1].

În general, eroziunea solului este cauzată de acțiunea apei și vântului pe terenurile arabile, dar și de îngheț și animale. În funcție de caracteristicile topografice, solul poate fi pierdut complet dintr-un câmp sau redepozitat în cadrul acestuia. Fracțiunea grosieră a solului (nisip și pietre) este transportată pe distanțe scurte, în timp ce nămolul, argila și materia organică mai fine pot fi mutate la distanțe considerabile față de locul inițial. Acest lucru face ca solul rămas să devină din ce în ce mai grosier și mai puțin fertil [5]. Regiunile vulnerabile, precum zonele tropicale și subtropicale și regiunile montane înalte, se așteaptă să sufere cel mai mult din cauza schimbărilor climatice [1]. Situația este în general

mai gravă în țările mai puțin dezvoltate, unde agroecosistemele sunt deja fragile, investițiile în agricultură sunt limitate și se prevede că schimbările climatice vor avea efectele cele mai devastatoare [6].

Schimbările climatice preconizate vor afecta cel mai probabil dezvoltarea și supraviețuirea patogenilor. Se prevede că schimbările în tiparele climatice sau meteorologice vor duce la creșterea susceptibilității culturilor la diverse presiuni din partea dăunătorilor, bolilor și buruienilor, ceea ce poate reduce nivelurile de producție în general. Mai mult, dăunătorii și bolile sunt mai frecvente în regiunile umede și calde. Alți parametri, cum ar fi umiditatea, viteza vântului, temperatura și precipitațiile, pot influența și ele randamentul culturilor. Relațiile plantă-apă sunt extrem de sensibile la schimbările de temperatură și precipitații. Modificările fiziologice sunt mai susceptibile de a fi afectate de schimbările extreme ale acestor parametri decât de schimbările climatice medii. Răspunsul plantelor la schimbările climatice variază în funcție de specia de plantă și stadiul de dezvoltare. Există praguri specifice pentru diferite culturi. Răspunsurile lor, cum ar fi alungirea rădăcinilor, perturbarea unghiului de creștere al rădăcinilor și reducerea randamentului, variază între diferitele specii de plante [3].

În timpul schimbărilor climatice, tiparele de precipitații se vor modifica, unele zone devenind mai umede, iar altele, inclusiv regiunile agricole importante, devenind mai uscate. Deși aceste tipare sunt greu de prezis, predicțiile modelelor climatice sunt mai incerte pentru precipitații decât pentru temperatură. Cu toate acestea, secetele recente din multe părți ale lumii subliniază rolul crucial al schimbărilor precipitațiilor. Chiar dacă precipitațiile anuale totale rămân neschimbate, agricultura poate fi afectată de schimbările în sezonalitatea sau intensitatea acestora [7].

Odată cu dezvoltarea legislației de mediu și a interesului public sporit pentru protejarea mediului, importanța unei gestionări eficiente a mediului în agricultură este acum larg recunoscută. Deși sectorul agricol răspunde lent la aceste provocări, există o mișcare voluntară în creștere către practici de mediu mai bune în agricultură. Principalele impacturi de mediu asociate cu agricultura sunt legate în principal de pesticide și reziduurile lor, compușii și emisiile de azot, gestionarea animalelor, eroziunea solului și pierderile de nutrienți care contribuie la eutrofizare. Este important de menționat că impacturile asupra mediului nu sunt limitate doar la măsurători chimice sau biochimice. Impacturile vizuale și estetice, cum ar fi aspectul peisajului, precum și considerațiile socio-economice, cum ar fi implicațiile pentru comunitățile rurale, reprezintă provocări mai complexe de cuantificat [5].

Ajungerea la un consens asupra interpretării, definirii și măsurării sustenabilității prezintă provocări semnificative. Cu toate acestea, conștientizarea crescândă a consecințelor de mediu asociate cu sistemele convenționale de agricultură a determinat o schimbare către abordări alternative care abordează explicit externalitățile agriculturii. Aceste alternative se străduiesc să minimizeze efectele negative, cum ar fi impactul pesticidelor asupra faunei sălbatice sau impactul îngrășămintelor asupra resurselor de apă, prin implementarea de schimbări în cadrul sistemului agricol în sine.

Deși agricultura ecologică este adesea prezentată ca principala alternativă la sistemele de producție convenționale, aceasta nu este singura opțiune. În cadrul practicilor sustenabile și alternative, alte abordări, cum ar fi sistemele cu inputuri reduse, biodinamice și regenerative, câștigă recunoaștere. De exemplu, agricultura sustenabilă cu inputuri reduse a primit finanțare și sprijin semnificativ în Statele Unite, concentrându-se pe reducerea utilizării anumitor inputuri agrochimice fără a le elimina complet. Este important de subliniat că multe țări au stabilit standarde distincte, proceduri de certificare și cadre legislative care diferențiază agricultura ecologică de alte abordări de agricultură sustenabilă. Aceste distincții sunt în principal realizate în scopuri de marketing [8].

Impactul agriculturii asupra mediului

În ciuda progreselor constante în tehnologie, societatea noastră rămâne puternic influențată de peisaj, climă, hidrologie, sol și organisme [9]. Interacțiunea și dependența de peisaj sunt factori fundamentali care trebuie luați în considerare atunci când analizăm potențialul dezvoltării durabile, deoarece practicile noastre actuale de gestionare a peisajului sunt departe de a fi durabile. Una dintre cele mai presante probleme cu care ne confruntăm astăzi și cu care ne vom confrunta în deceniile viitoare este problema producției de alimente. De-a lungul miilor de ani, această problemă a fost abordată prin transformarea pădurilor, pășunilor și zonelor umede în teren arabil și intensificarea practicilor agricole.

Agricultura este singura sursă viabilă de hrană pentru oameni. Pe măsură ce populația globală continuă să crească, cerințele asupra aprovizionării noastre alimentare vor crește inevitabil, ducând la o creștere a inputurilor agricole. Cu toate acestea, această creștere a inputurilor este probabil să creeze din punct de vedere agricol provocări de mediu și mai mari decât cele pe care le experimentăm în prezent. Deși agricultura este esențială pentru susținerea vieții umane, modul în care tratăm natura va întâmpina provocări semnificative în anii ce vor urma. Va deveni din ce în ce mai crucial să limităm presiunile rezultate din emisiile de dioxid de carbon, degradarea biodiversității și pierderea apei cauzate de practicile agricole intensive [10].

Extinderea zonelor agricole

Astăzi, extinderea suprafețelor agricole prin cultivare este din ce în ce mai dificilă. În ultimii 50 de ani, producția a crescut în principal prin intensificarea cultivării pe unitate de teren, combinată cu o creștere relativ lentă a bazei de teren [11]. Majoritatea zonelor din climatul temperat sunt deja folosite în scopuri agricole. Defrișarea, în special tăierea pădurilor tropicale pentru producerea de soia sau ulei de palmier, are consecințe majore și incontestabile asupra mediului în ceea ce privește pierderea biodiversității și încălzirea globală.

Degradarea solului

Solul este unitatea de bază a sistemului ecologic și este, în mare măsură, o resursă neregenerabilă. Cu toate acestea, din păcate, degradarea sa este însoțește permanent și constant agricultura, fiind una dintre cele mai grave probleme de mediu. Cele mai mari cauze ale degradării solului sunt monoculturile, extracția de minerale, pășunatul necontrolat, defrișările, lucrările agricole inadecvate, eroziunea hidrică și aplicarea incorectă a produselor agrochimice. Una dintre soluțiile pentru prevenirea degradării solului este împădurirea terenurilor arabile sau tranziția de la terenuri arabile la pajiști, însă într-o situație în care cererea de carne este în creștere [12].

Cererea pentru produse din carne

În ultimii 50 de ani, consumul global de carne per persoană s-a dublat, de la aproximativ 20 kg pe persoană pe an în 1960, la mai mult decât dublu în 2011, estimându-se că va depăși 50 kg pe persoană pe an în 2050 [13]. Această problemă se va agrava în timp pe măsură ce populația și veniturile vor crește. Consumul de carne, ouă și produse lactate va crește probabil, ceea ce va pune presiune pe terenuri pentru a cultiva mai mult porumb, soia și alte culturi necesare pentru hrănirea animalelor. De exemplu, în China, producția și consumul de carne de porc au crescut dramatic. Comparativ cu 1979, consumul de carne de porc a crescut de cinci ori pe cap de locuitor. Această cerere în China a dus la defrișarea pădurilor și conversia acestora în teren arabil și la conversia masivă a pășunilor în teren arabil în Argentina, ceea ce a creat o presiune foarte mare asupra terenurilor și la degradarea acestora, unde astfel de schimbări semnificative și extinse nu pot fi susținute pe termen lung.

Adaptarea la schimbările climatice în producția agricolă

Stabilirea unei definiții precise a adaptării este crucială încă de la început. O definiție potrivită ar putea fi: că adaptarea se referă la acțiuni care atenuează impacturile negative sau îmbunătățesc efectele pozitive ale schimbărilor climatice [14]. Fluctuațiile de temperatură și variațiile în modelele de precipitații sunt factorii principali care indică stresurile mediului, cuprinzând atât rezultate pozitive, cât și negative, cu efecte negative care sunt în mod deosebit îngrijorătoare [4]. Datorită gamei largi de interese în adaptare, au apărut numeroase definiții ale adaptării la climă. Grupul Interguvernamental privind Schimbările Climatice (IPCC) definește adaptarea ca ajustările făcute în sistemele naturale sau umane ca răspuns la stimulii climatici actuali sau anticipați sau la efectele lor, având ca scop minimizarea daunelor sau capitalizarea oportunităților benefice. Adaptarea la climă poate fi, de asemenea, definită ca orice acțiune care îmbunătățește suficient bunăstarea societală pentru a compensa pierderile legate de schimbările climatice. Cu toate acestea, problema cu definițiile largi este că își pierd semnificația când vine vorba de evaluarea impactului emisiilor de gaze cu efect de seră [14].

Chiar și schimbările ușoare ale climei pun provocări semnificative pentru agricultură. Spre deosebire de alte industrii, care pot adesea implementa soluții relativ rapide ca răspuns la schimbările climatice, agricultura funcționează diferit. Ea se bazează pe procese naturale care depind de proporții specifice de nutrienți, temperaturi, precipitații și alte condiții. La nivel mondial agricultura a fost optimizată pe baza condițiilor climatice locale prin decenii de experimentare. Condițiile favorabile pentru creșterea culturilor includ intervale preferate de temperatură medie și precipitații, precum și informații despre momentul precis și valorile extreme [7]. În timp ce diverse schimbări în gestionarea agricolă și unele tehnologii, cum ar fi schimbările în fenologia culturilor și îmbunătățirea toleranței la secetă și căldură, pot îmbunătăți productivitatea culturilor, ele nu reprezintă neapărat adevărate adaptări [14]. Adaptarea la schimbările climatice este necesară, dar nu suficientă. Dacă încălzirea globală continuă în ritmul actual, adaptarea va deveni din ce în ce mai greu de făcut în câteva decenii. O soluție pe termen lung trebuie să implice reducerea rapidă a emisiilor pentru a limita amploarea schimbărilor climatice viitoare [7].

Asigurarea productivității în agricultură este de o importanță maximă. Randamentul culturilor și producția sunt doar două dintre multele metrici de impact posibile, cu rezultate sociale și economice ce trebuie luate în considerare la scară largă. Orice schimbare agricolă care îmbunătățește bogăția generală și reduce vulnerabilitatea la situații extreme poate fi considerată o adaptare la climă [14]. Abordarea crizei climatice în agricultură necesită adaptare prin dezvoltarea culturilor și soiurilor rezistente la căldură și secetă, precum și prin reducerea urgentă a emisiilor de gaze cu efect de seră pentru a minimiza daunele viitoare legate de climă [7]. Acțiunile cu un adevărat impact în agricultură sunt relativ rare, contrar modului în care sunt adesea prezentate sau presupuse [14]. Conform lui Reynolds și Ortiz [6], tehnologiile de gestionare a culturilor sustenabile și economisitoare de resurse oferă beneficii semnificative în contextul schimbărilor climatice.

Aceste abordări includ, de exemplu:

1. Reducerea lucrărilor solului combinată cu reținerea reziduurilor culturilor poate proteja culturile împotriva evenimentelor climatice severe, de exemplu, prin creșterea conținutului de apă din sol.

2. În plus, îmbunătățirea solului pentru creșterea rădăcinilor poate ajuta realizarea potențialului de randament al soiurilor îmbunătățite.

3. Diversificarea sistemelor de cultivare ajută la controlul bolilor transmise prin sol.

Există și beneficii pe termen lung, care, de exemplu, includ următoarele:

1. Reducerea impactului asupra mediului prin precizia aplicării azotului și a apei în cazul irigațiilor și reducerea utilizării motorinei în operațiunile agrotehnologice.

2. Întreținerea solurilor mai puțin predispuse la degradare chiar și în timp ce schimbările climatice cresc necesitatea unei cultivări mai intensive în regiunile încă productive.

Pentru a evalua mai bine impactul schimbărilor climatice și pentru a identifica inovații agricole mai eficiente pentru viitoarele condiții climatice, este necesar un tratament consecvent al adaptării la climă. Este important să recunoaștem că unele dintre cele mai bune inovații agricole din deceniile următoare ar putea să nu aibă beneficii directe de adaptare și totuși ar trebui să li se acorde atenție [14]. În concordanță cu acest lucru, Reynolds și Ortiz [6] sugerează implementarea următoarelor soluții tehnice orientate către culturi pentru a îmbunătăți securitatea alimentară:

• Implementarea practicilor de gestionare a culturilor și terenurilor care maximizează productivitatea durabilă folosind resursele naturale disponibile, în timp ce se realizează întregul potențial genetic al soiurilor.

• Utilizarea strategiilor de gestionare și reproducere a animalelor pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră.

• Concentrarea eforturilor de încrucișare a culturilor pentru dezvoltarea culturilor adaptate la medii mai dure, prevăzute de modelele de schimbare a climei.

• Evaluarea sistematică a resurselor genetice pentru a le utiliza mai bine în îmbunătățirea soiurilor.

• Investiții în agroecosistemele țintă, luând în considerare factori precum cultivarea, climatul, condițiile biotice și caracteristicile solului, pentru a evalua diferite modele de adaptare genetică în mod sistematic.

• Integrarea tehnicilor de cercetare, cum ar fi senzorizarea la distanță pentru fenotipizarea precisă, rețelele de operații de teren și tehnici moleculare de ultimă oră pentru a stabili legături mai precise între analiza genomului și răspunsurile adaptative ale culturilor.

• Determinarea limitelor teoretice ale eficienței utilizării resurselor în sistemele de cultură (inclusiv nutrienți, apă și lumină) pentru a stabili obiective de cercetare realiste pentru estimarea productivității potențiale în scenarii de schimbare climatică viitoare, luând în considerare răspunsul culturilor și adaptarea potențială la evenimente climatice extreme.

• Monitorizarea și modelarea răspândirii bolilor și dăunătorilor ca răspuns la factorii climatici pentru a minimiza pierderile culturilor și a reduce riscul de epidemii.

• Înființarea de consorții de cercetare de expertiză și de platforme de cercetare pentru a rezolva probleme comune.

În concluzie, reducerea decalajului între randamentele curente și realizabile poate contribui la atenuarea riscului de penurie alimentară [6]. Interesul larg este îndreptat asupra potențialului de adaptare pentru a reduce impacturile negative sau pentru a îmbunătăți efectele pozitive ale schimbărilor climatice. Este esențial să se cuantifice riscurile asociate cu reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră pentru a evalua corespunzător costurile și beneficiile. În plus, este necesar să se identifice acțiuni și investiții care pot îmbunătăți perspectivele producției alimentare și care să contribuie la consolidarea securității alimentare [14].

Bibliografie

1. Niggli, U., Schmid, H., Fliessbach, A. (2008). *Organic farming and climate change*. International Trade Centre (ITC), Geneva. 38 p.
2. Aydinalp, C., Cresser, M. S. (2008). The effects of global climate change on agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(5), 672-676.
3. Malhi, G. S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, *13*(3), 1318. https://doi.org/10.3390/su13031318
4. Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, *8*(2), 34.
5. Skinner, J. A., Lewis, K. A., Bardon, K. S., Tucker, P., Catt, J. A., Chambers, B. J. (1997). *An Overview of the Environmental Impact of Agriculture in the U.K.* Journal of Environmental Management, 50(2), 111–128. https://doi.org/10.1006/jema.1996.0103
6. Reynolds, M. P., Ortiz, R. (2010). Adapting crops to climate change: a summary, 1. In Reynolds, M. P. (Ed.). (2010). *Climate change and crop production*. CABI.
7. Bernard, L., Semmler, W., Ackerman, F., Stanton, E. A. (2015). Climate Impacts on Agriculture. In L. Bernard & W. Semmler (Ed.), *The Oxford Handbook of the Macroeconomics of Global Warming*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199856978.013.0024
8. Stockdale, E. A., Lampkin, N. H., Hovi, M., Keatinge, R., Lennartsson, E. K. M., Macdonald, D. W., Padel, S., Tattersall, F. H., Wolfe, M. S., Watson, C. A. (2001). Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *In Advances in Agronomy* (Issue. 70, s. 261–327). Elsevier.
9. Martini, I. P., Chesworth, W. (Ed.). (2010). Landscapes and societies: Selected cases. Springer.
10. Bouma, J., McBratney, A. (2013). *Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems*. Geoderma, 200–201, 130–139.
11. Alston, J. M., Pardey, P. G. (2014). *Agriculture in the Global Economy*. Journal of Economic Perspectives, 28(1), 121–146. https://doi.org/10.1257/jep.28.1.121
12. Johnson, B., Villumsen, G. (2018). *Environmental aspects of natural resource intensive development: The case of agriculture*. Innovation and Development, 8(1), 167–188.
13. Alexandratos, N., Bruinsma, J., Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision*. https://doi.org/10.22004/AG.ECON.288998
14. Lobell, D. B. (2014). Climate change adaptation in crop production: Beware of illusions. *Global Food Security*, *3*(2), 72–76. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.05.002

Strategii de agricultură durabilă și sisteme de culturi rezistente la schimbările climatice

Intensificarea producției agricole, care a avut loc în ultimul secol în țările Uniunii Europene actuale, a deteriorat serios eforturile pentru sustenabilitate în sectorul agricol. Un exemplu al intensificării agricole poate fi inputul excesiv de nutrienți în mediu. În ciuda unor restricții legate de volumul de aplicare a îngrășămintelor care au avut loc acum câțiva ani, consecințele utilizării intensive a îngrășămintelor persistă și în prezent [1]. Din punct de vedere al îngrășămintelor și al nutrienților conținuți în ele și din punctul de vedere al intrării lor în mediu, reducerea excesului acestora în termeni de îmbunătățire a stării mediului este una dintre probleme fundamentale ale politicii agricole comune [2]. Se pare că măsurile de protecție legate de trecerea la agricultura organică, cum ar fi diversificarea practicilor de semănat, utilizarea pesticidelor biologice, lucrările de conservare a solului etc., cresc absorbția de îngrășăminte de către plante [3] și reduc scurgerea apei de suprafață, ceea ce este esențial pentru menținerea nutrienților în sol și reducerea necesității de îngrășăminte importate [4]. Datorită faptului că agricultura organică reprezintă un sistem alternativ de gestionare a fermei care combină diverse măsuri de conservare și fertilizare cu gunoi, interzicând în același timp aplicarea îngrășămintelor minerale, fermierii pot observa o creștere a rezistenței afacerilor lor la șocurile economice externe pe care prețurile îngrășămintelor minerale le pot provoca sau pot evita complet lipsa acestora.

Strategia agriculturii durabile este influențată semnificativ de legislația la nivel regional și european. Cele mai multe dintre aceste reglementări iau forma unor directive obligatorii care pot avea o influență puternică asupra adoptării și dezvoltării strategiilor de agricultură durabilă. Cunoașterea legislației curente este importantă pentru a înțelege diferențele în abordările referitoare la agricultura durabilă în Europa în comparație cu alte zone. Este foarte important să se încerce crearea de strategii de dezvoltare durabilă deoarece temperatura și disponibilitatea apei sunt factori cheie în determinarea creșterii plantelor și randamentului culturilor. Aceștia sunt factori care se vor schimba odată cu schimbarea climei, iar modificările prevăzute nu sunt optimiste. Schimbările climatice de care se teme umanitatea astăzi ar putea provoca modificări în dinamica invazivității dăunătorilor, patogenilor și buruienilor, și numai în rău.

Instabilitatea cauzată de climă și vreme va afecta fără îndoială nivelul de aprovizionare cu alimente și accesul la ele, va altera stabilitatea socială și economică și competitivitatea regională. În acest sens, adaptarea este văzută ca un factor cheie care va modela gravitatea viitoarelor impacturi ale schimbărilor climatice asupra producției alimentare. Schimbările climatice vor afecta producția alimentară la nivel mondial din cauza presiunii crescute din partea buruienilor [5], dăunătorilor și patogenilor [6]. Din cauza schimbărilor climatice, cele mai dezbătute fenomene sunt frecvența evenimentelor extreme precum inundațiile, secetele, modificările în precipitații, diferențele de temperatură și schimbările la nivel global ale patogenilor asociate sistemelor alimentare [7]. Manifestarea celor menționate mai sus este așteptată abia în a doua jumătate a secolului al XXI-lea, ceea ce nu influențează cu nimic importanța luării în prezent a unor măsuri de protecție și trecerea, de exemplu, la strategii de agricultură durabilă și sisteme de cultivare a culturilor rezistente la schimbările climatice.

Monoculturile - Cultivarea ne-modernă în agricultura modernă

O mare problemă în agricultura de astăzi este reprezentată de monoculturi, ponderea acestora continuând să crească la nivel mondial. Aproximativ 80% din cele 1,5 miliarde de hectare sunt folosiți în scopul monoculturilor de mai multe cereale și mai multe specii de animale. Doar grâul, porumbul, orezul și cartofii reprezintă aproximativ 60% din sursele alimentare vegetale ale lumii, iar doar 14 specii de animale furnizează 90% din toată proteina animală [8]. Variația culturilor pe unitatea de teren arabil continuă să scadă și în prezent.

Un exemplu bun care demonstrează că monoculturile nu reprezintă o soluție potrivită pentru agricultura modernă de astăzi este, de exemplu, epidemia de *Helminthosporium maydis* a porumbului din SUA în 1970. Aceasta a dus la o pierdere estimată de 15% a producției de porumb sau o pierdere de un miliard de dolari [9]. Epidemia din SUA nu este singurul exemplu care demonstrează reducerea diversității plantelor cultivate și modul în care această reducere amenință producția mondială de alimente [10]. Foametea cartofului din Irlanda, între 1845 și 1852, a fost rezultatul plantării extinse a unui clon uniform genetic (o singură varietate numită Lumpers) și a unei epidemii de mană a cartofului (*Phytophthora infestans*) care a cauzat o reducere a randamentului de 80%. În consecință, milioane de irlandezi au murit de foame și ale două milioane au emigrat. Marea foamete din Bengal din India în 1943 a fost cauzată de o boală devastatoare (*Cochliobolus miyabeanus*) care aproape a distrus producția de orez. Cu mai mult de un secol în urmă în Franța, vița-de-vie a fost complet eradicată de *Phylloxera vertifoliae* până când a fost introdusă o varietate rezistentă provenind din SUA [11].

Agricultura tradițională ca o cale pentru diversificarea și sustenabilitatea standardelor

În multe țări în curs de dezvoltare, agricultura tradițională persistă încă, adică agricultura care folosește practici, metode și tehnici transmise din generație în generație și implică adesea o cantitate mare de muncă manuală și utilizarea uneltelor mai simple care ajută la îmbunătățirea biodiversității și sprijină rezistența agro-ecosistemelor [12]. De exemplu, în încercarea constantă de a face față evenimentelor meteorologice extreme și variabilității climatice, fermierii din Africa, Asia și America Latină au dezvoltat și/sau moștenit sisteme agricole complexe gestionate într-un mod sofisticat. Aceste sisteme au permis familiilor de fermieri mici să-și satisfacă nevoile de subzistență în contextul variabilității mediului fără a depinde de tehnologiile agricole moderne [13].

În prezent, în ciuda modernizării generale a agriculturii, se observă tot mai mult tendința de trecere la agricultura organică, diversificarea producției agricole, accentuarea biodiversității și minimizarea intrărilor în sistem, ceea ce conferă acestor ecosisteme rezistență la schimbările mediului și la cele economice [14]. Printre strategiile care vor permite conservarea producției agricole în anii următori, pentru a crește rezistența la schimbările climatice la patogeni și la dăunători, se numără protejarea și restaurarea ecosistemelor, utilizarea durabilă a resurselor de sol și apă, culturile agroforestiere, diversificarea agriculturii, ajustarea practicilor de cultivare și includerea culturilor rezistente la stres [15].

Biodiversitatea în agroecosistem

Nivelul existent al biodiversității poate face diferența între un sistem care este supus stresului sau care este într-o oarecare măsură rezistent la stres. Pentru ca un agroecosistem să funcționeze și să ofere servicii ecologice, este necesar ca varietatea organismelor pe care le conține să fie diversă [16]. Dacă agroecosistemul nu are o biodiversitate ridicată, capacitatea sa de a răspunde la schimbările externe scade [17].

Într-un agroecosistem pot fi distinse două tipuri de biodiversitate, respectiv diversitatea funcțională, care se referă la diversitatea organismelor și la serviciile ecosistemice pe care le furnizează și care asigură funcționarea sa [18]. A doua se referă la diversitatea răspunsurilor la schimbările mediului în rândul speciilor, iar aceste specii au aceeași funcție în agroecosistem asigurând astfel funcționarea sa. Dacă un agroecosistem conține ambele tipuri de diversități, se poate presupune că va fi rezistent la influențele externe [19]. Biodiversitatea furnizează o mare varietate de servicii ecosistemice în afara producției alimentare, inclusiv reciclarea nutrienților, reglarea microclimatului și a proceselor hidrologice, suprimarea organismelor nedorite sau fitoremedierea. Deoarece procesele de restaurare mediate de biodiversitate și serviciile ecosistemice sunt în mare parte biologice, persistența acestora depinde de menținerea integrității biologice și diversității în agroecosisteme.

Provocări și strategii pentru o agricultură sustenabilă

Lărgirea și intensificarea agriculturii au un efect profund și asupra atmosferei noastre. Aceste schimbări atmosferice sau climatice vor afecta securitatea alimentară globală [20]. Înainte de începutul secolului al XIX-lea, concentrația de CO_2 era de aproximativ 250 ppm sau mai mică. În 2013, concentrația a crescut continuu până la un nivel de aproximativ 400 ppm (Figura 2d). Deoarece emisiile de CO_2 au principala contribuție la efectul de seră, temperatura globală medie a crescut cu mai mult de 1°C începând din 1850 (Figura 2e). Dacă deteriorarea climatului nu este controlată, ar putea deveni ireversibilă și această situație va continua să se agraveze, în special din cauza frecvenței mai mari a incendiilor de pădure, care vor rezulta și datorită temperaturii tot mai ridicate. Ca urmare, ghețarii din Arctica se vor topi mai repede, ceea ce va duce ulterior la o creștere a emisiilor de CO_2 și la o creștere suplimentară a temperaturii. Deși topirea ghețarilor nu contribuie direct la creșterea emisiilor de CO_2, poate contribui indirect la aceasta. Când ghețarii se topesc, ei eliberează cantități mari de apă proaspătă în oceanele din jur. Aceast influx de apă dulce poate perturba modelele de circulație oceanică, ceea ce la rândul său poate schimba distribuția de nutrienți și carbon în ocean. Perturbarea circulației oceanice poate duce la o reducere a cantității de dioxid de carbon pe care oceanul este capabil să o absoarbă din atmosferă. Aceasta, la rândul său, poate duce la o creștere a concentrației de CO_2 în atmosferă, ceea ce contribuie la schimbările climatice.

Această încălzire va cauza o distribuție proastă a ploilor, agravând inundațiile și secetele, iar în unele zone va avea efecte dăunătoare asupra creșterii culturilor, cum ar fi germinarea redusă și multiplicarea semințelor, creșterea incidenței bolilor și dăunătorilor [20,21,22].

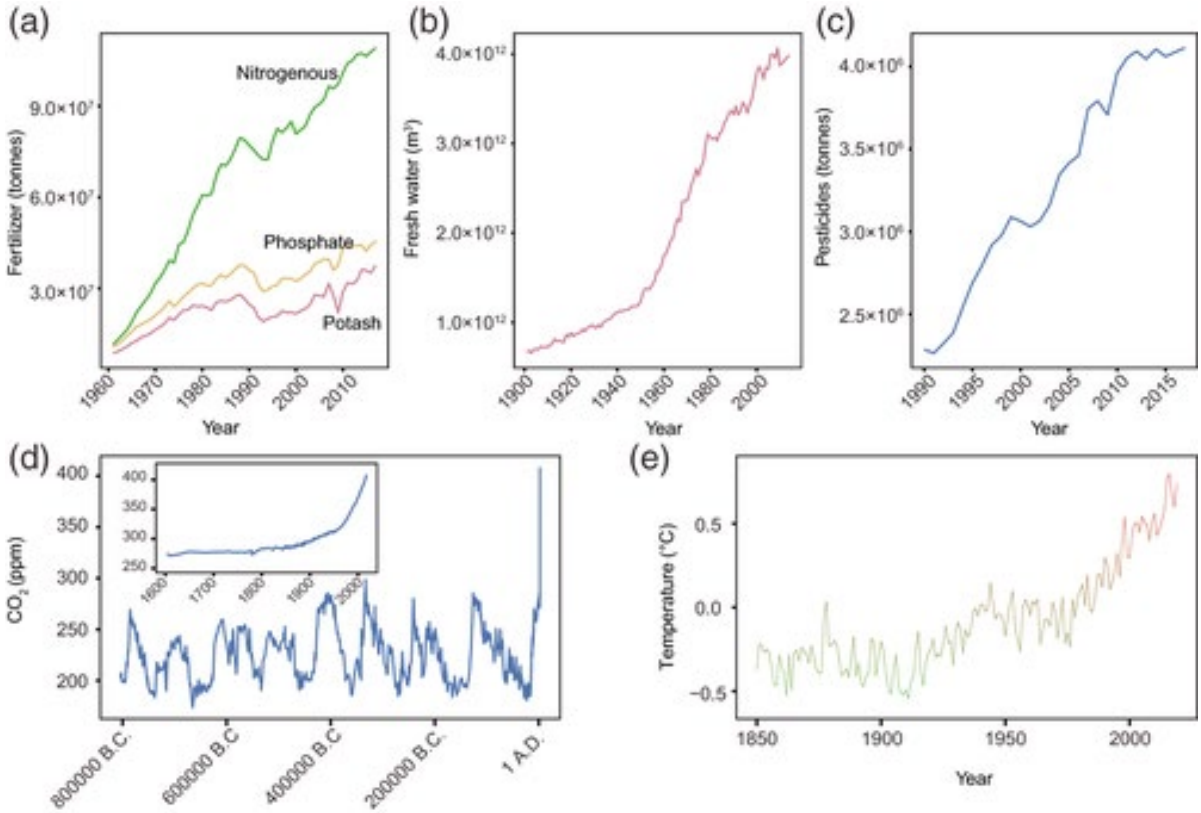


Figura 1. Utilizarea îngrășămintelor, a apei și a pesticidelor și schimbările de mediu de-a lungul istoriei [23]. (a) Consumul de îngrășăminte azotoase, fosfatice și potasice, (b) Consumul de apă, (c) Consumul de pesticide, (d) Schimbările în concentrația de CO_2, (e) Temperaturile medii globale.

Cerințele agriculturii sustenabile

Agroecologia este un concept ce are în prezent cel mai mare potențial de a asigura accesul la realizarea dreptului la alimentație adecvată, cum ar fi disponibilitatea, accesibilitatea, adecvarea și durabilitatea alimentelor. Agricultura nu trebuie să compromită nici capacitatea de a satisface nevoile viitoare în detrimentul biodiversității și resurselor naturale. Agricultura trebuie să fie dezvoltată într-un mod care să crească veniturile micilor fermieri și ale consumatorilor proveniți din medii mai sărace, deoarece foamea este cauzată în principal de sărăcie și nu de lipsa hranei. În viitor, singurul sistem care va putea să facă față tuturor problemelor incipiente de astăzi, în special cele legate de climă, va fi un sistem concentrat pe un nivel ridicat de diversitate, productivitate și eficiență. Datorită intrărilor din ce în ce mai costisitoare (de exemplu sub formă de combustibil sau substanțe agrochimice), limitarea constantă a aprovizionării cu azot și clima care se schimbă rapid, un astfel de sistem va fi din ce în ce mai dificil de creat. Această mare provocare, care devine din ce în ce mai reală, va trebui probabil rezolvată cu ajutorul noilor tehnologii prietenoase cu mediul și care vor ține cont și de suprafețele de teren arabil din ce în ce mai reduse. Una dintre opțiuni este de a crește eficiența producției conform Figurii 2.

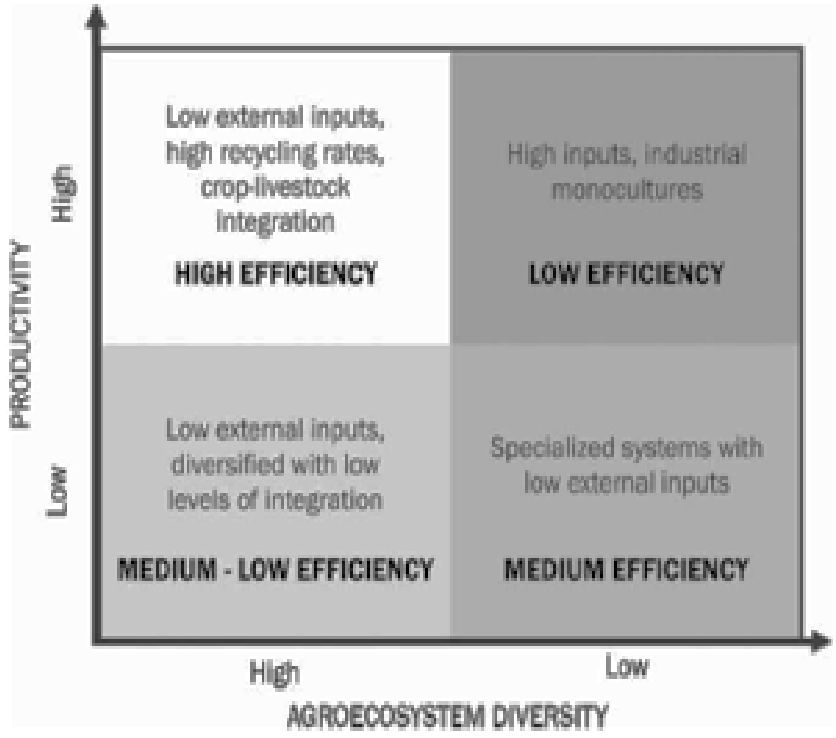


Figura 2. Agroecosistemele viitorului [24].

Una dintre cele mai mari provocări ale secolului al XXI-lea o reprezintă transformarea producției agricole astfel încât aceasta să nu ducă doar la obținerea unei cantități mari de alimente, ci să devină și un important contribuitor la protecția globală și biodiversitate [25].

Standarde de dezvoltare sustenabilă

De exemplu, conceptele adoptate de Unilever, Parteneriatul Global pentru Bioenergie și Rainforest Alliance sunt pionierat în ceea ce privește durabilitatea, unde Unilever a adoptat o serie de măsuri legate de principiile durabilității agricole cerând furnizorilor săi să respecte aceste principii [26].

Parteneriatul Global pentru Bioenergie este o altă inițiative care vizează unificarea acestor principii, incluzând metrici economice, de mediu și sociale, deoarece datorită datelor din aceste sectoare va fi

posibil să se afle dacă un anumit sistem agricol este gestionat într-un mod cu adevărat durabil [27]. Cerința principală a acestei inițiative este de a găsi în companie modalități pentru a implementa planul de durabilitate și în același timp a modului în care să fie evaluate obiectivele și metodele utilizate în toate sferele, atât cea a mediului înconjurător, cât și cea economică.

Utilizarea standardelor și verificările ulterioare, atunci când verificările nu trebuie să fie efectuate de către stat, ci direct de către client sub formă de audituri, poate susține durabilitatea agriculturii și reziliența ecosistemului agricol dat [25].

De exemplu, Rainforest Alliance [28] a dezvoltat o serie de standarde care acoperă managementul fermelor din punct de vedere al mediului, al justiției sociale, al muncii și agronomic. Certificarea Rainforest Alliance este construită pe trei piloni ai durabilității: protecția mediului, justiția socială și viabilitatea economică. Tendințele așteptate în fermele din zonele tropicale care respectă aceste standarde includ mai puțină eroziune a solului, reducerea poluării și generarea deșeurilor, un habitat mai bun pentru fauna sălbatică, riscuri reduse pentru sănătatea umană și condiții îmbunătățite pentru lucrători.

Agricultura verde ca cheie a sustenabilității

Există multe modalități de a obține noi modele de agricultură cu biodiversitate, rezistență, productivitate și eficiență din punct de vedere al resurselor, cum ar fi:

1. Utilizarea practicilor de conservare care implică o lucrare minimă sau inexistentă a solului

2. Intensificarea durabilă (creșterea rentabilității și eficienței producției)

3. Tranziția către agricultura organică

4. Utilizarea sistemelor agroecologice, vezi Tabelul 1

Acestea sunt doar câteva dintre modalitățile posibile de combatere a schimbărilor climatice în agricultură, iar fiecare fermier care aplică una dintre metodele de mai sus în afacerea sa contribuie la un viitor mai bun pentru toți oamenii.

În principiu aceste practici agricole sunt similare, dar foarte diferite metodologic, cum ar fi inputurile de teren mari versus mici, agricultura orientată către piață versus agricultura ne-orientată către piață, suprafețele mari de monocultură versus fermele mici cu biodiversitate ridicată.

Tabelul 1 descrie o serie de caracteristici pe care un sistem agricol ar trebui să le conțină pentru a fi considerat durabil pe termen lung. Cu toate acestea, există multe modalități de evaluare a sistemelor agricole în ceea ce privește durabilitatea. Baza trebuie să fie acordul asupra atributelor pentru evaluarea durabilității și aplicarea acestora în toate sistemele care susțin durabilitatea.

Tabelul 1. Atribute de bază ale agriculturii durabile [25].

1.	Utilizarea soiurilor locale de culturi și rase de animale pentru a crește diversitatea genetică și a îmbunătăți adaptarea la condițiile biotice și de mediu în schimbare.
2.	Evitarea utilizării nejustificate a substanțelor agrochimice și a altor tehnologii care au un impact negativ asupra mediului și sănătății umane (de exemplu utilajele grele).
3.	Utilizarea eficientă a resurselor (substanțe nutritive, apă, energie etc.), reducerea utilizării de energie neregenerabilă și reducerea dependenței fermierilor de intrările externe.
4.	Utilizarea principiilor și proceselor agroecologice precum ciclul de nutrienți, fixarea biologică a azotului, alelopatia, controlul biologic, etc.

5. Utilizarea productivă a capitalului uman sub formă de cunoștințe și abilități științifice tradiționale și moderne pentru inovare și utilizarea capitalului social prin recunoașterea identității culturale, metode participative și rețele de fermieri pentru a consolida solidaritatea și schimbul de inovație și tehnologie pentru a rezolva problemele.
6. Reducerea amprentei ecologice a proceselor de producție, distribuție și consum, reducând astfel emisiile de gaze cu efect de seră și poluarea solului și a apei.
7. Promovarea practicilor care cresc disponibilitatea de apă curată, sechestrarea carbonului, conservarea biodiversității, conservarea solului și a apei, etc.
8. Consolidarea capacității de adaptare și a rezilienței sistemului agricol prin menținerea diversității agroecosistemului.
9. Recunoașterea și conservarea dinamică a sistemelor agricole moștenite care permit coeziunea socială și un sentiment de mândrie, promovând un sentiment de apartenență și reduc migrația.

Strategii pentru sustenabilitate

Implementarea unei strategii de durabilitate ar putea teoretic să fie ușor de realizat sau să se apropie destul de mult de acest ideal. În același timp, păstrarea posibilității pentru fiecare locuitor al lumii de a cumpăra alimente nu ar fi deloc dificilă. Dacă cumpărătorii, în special cei mai mari, ar cere furnizorilor lor, în acest caz fermierilor, să respecte anumite principii, reguli și norme menite să asigure durabilitatea, menținând totuși prețurile, ar fi posibil să se realizeze sustenabilitatea în agricultură mai repede decât se întâmplă în prezent. Cu toate acestea, ar fi ideal ca o parte din standarde să fie stabilite de guvernul statului respectiv sau de un grup de state, care să asigure unificarea tuturor fermierilor implicați, exact așa cum se întâmplă în cazul agriculturii organice. Desigur, este foarte important să educăm populația în ceea ce privește problemele agriculturii de astăzi, pentru că atunci când populația este foarte bine informată cu privire la această problemă, va stimula interesul pentru producția reglementată de produse provenite din sisteme agricole durabile. La fel ca și produsele vegane, aceste produse din producția durabilă ar putea fi la fel sau chiar mai mult solicitate.

Bibliografie

1. European Environment Agency. (2018). Agricultural Land: Nitrogen Balance. Available online: https://www.eea.europa.eu/airs/2018/natural-capital/agricultural-land-nitrogen-balance#tab-based-on-indicators (accessed on 26 March 2020).
2. European Commission. (2020). The Common Agricultural Policy at a Glance. Available online: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en (accessed on 26 March 2020).
3. Alam, M. K., Bell, R. W., Salahin, N., Pathan, S., Mondol, A. T. M. A. I., Alam, M. J., Shil, N. C. (2018). Banding of fertilizer improves phosphorus acquisition and yield of zero tillage maize by concentrating phosphorus in surface soil. Sustainability, 10(9), 3234.
4. Edmeades, D. C. (2003). The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. Nutrient cycling in Agroecosystems, 66(2), 165-180.
5. IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC Special Report, WGII.
6. Lobell, D. B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. Science, 333(6042), 616-620. https://doi.org/10.1126/science.1204531
7. Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S., Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: An interpretative review. Climatic Research, 11(1), 19-30.
8. Vigouroux, Y., Barnaud, A., Scarcelli, N., Thuillet, A. C. (2011). Biodiversity, evolution and adaptation of cultivated crops. Comptes Rendus Biologies, 334(5-6), 450-457.
9. Heinemann, J. A., Massaro, M., Coray, D. S., Agapito-Tenfen, S. Z., Wen, J. D. (2014). Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. International Journal of Agricultural Sustainability, 12(1), 71-88.

https://doi.org/10.1080/14735903.2013.806408

10. Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes
11. Thrupp, L. A. (1998). Cultivating diversity: agrobiodiversity and food security. World Resources Institute.
12. Koohafkan, P., Altieri, M. A. (2010). Globally Important Agricultural Heritage Systems: a legacy for the future UN-FAO.
13. Denevan, W. M. (1995). Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. In R. M. C. Netting (Ed.), Smallholders, householders: Farm families and the ecology of intensive, sustainable agriculture (pp. 21-43). Stanford University Press.
14. Netting, R. M. C. (1993). Smallholders, householders: Farm families and the ecology of intensive, sustainable agriculture. Stanford University Press.
15. Mijatović, D., Van Oudenhoven, F., Eyzaguirre, P., & Hodgkin, T. (2013). The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. International Journal of Agricultural Sustainability, 11(2), 95-107.
16. Altieri, M., & Nicholls, C. (2004). Biodiversity and pest management in agroecosystems. CRC Press.
17. Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, 16(3), 253-267.
18. Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. Science, 294(5543), 804-808.
19. Cabell, J. F., Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. Ecology and Society, 17(1), 18.
20. Wheeler, T., Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. Science, 341(6145), 508-513.
21. Lobell, D. B., Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. Plant Physiology, 160(4), 1686-1697.

22. Taiz, L. (2013). Agriculture, plant physiology, and human population growth: past, present, and future. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 25, 167-181.
23. Tian, Z., Wang, J. W., Li, J., Han, B. (2021). Designing future crops: challenges and strategies for sustainable agriculture. The Plant Journal, 105(5), 1165-1178.
24. Funes-Monzote, F. R. (2009). Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba. Est. Exp. Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Matanzas. 156p.
25. Koohafkan, P., Altieri, M. A., Gimenez, E. H. (2012). Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. International Journal of Agricultural Sustainability, 10(1), 61-75.
26. Pretty, J., Smith, G., Goulding, K. W. T., Groves, S. J., Henderson, I., Hine, R. E., Walter, C. (2008). Multi-year assessment
27. Global Bioenergy Partnership. (2010). Bioenergy and food security. Retrieved from www.globalbioenergy.org/bioenergyinfo/bioenergy-and-food-security/en/
28. Rainforest Alliance. (2007). Our work in sustainable agriculture. Retrieved from www.rainforest-alliance.org/work/agriculture

Sisteme de lucrări în cadrul culturilor rezistente la schimbările climatice și efectul rotației culturilor, a culturilor de acoperire și celor premergătoare

Agricultura lasă o amprentă semnificativă pe suprafața Pământului. Potrivit Națiunilor Unite (FAO), terenurile arabile reprezintă aproximativ 1,53 miliarde de hectare, adică aproximativ 12% din suprafața terestră a Pământului. Pășunile acoperă aproximativ 3,38 miliarde de hectare, adică aproximativ 26% din suprafața terestră a Pământului. Această suprafață combinată de teren agricol reprezintă aproximativ 38% din suprafața Pământului, făcând agricultura industria care utilizează cea mai mare cantitate de teren pe planetă. Restul terenului este ocupat de deșerturi, munți, tundră, orașe, rezervații ecologice și alte zone nepotrivite pentru agricultură [1].

În ultimele decenii, producția agricolă globală a crescut semnificativ la fel și suprafața de teren agricol utilizată. FAO raportează o creștere a producției cu 47% între 1985 și 2005 [1], în timp ce creșterea terenului agricol este doar de 2,4%. Cu toate acestea, în ciuda creșterii impresionante a randamentelor culturilor între 1985 și 2005, între 1965 și 1985, creșterea producției a fost chiar de 56%, ceea ce poate indica faptul că randamentele culturilor cresc mai lent astăzi decât înainte, și fiind doar o chestiune de timp până când creșterea randamentelor se oprește complet [1]. Cu toate acestea, una dintre modalitățile de a îmbunătăți constant producția diferitelor plantelor este de a se concentra pe biodiversitatea agroecosistemelor [2]. Biodiversitatea este baza agriculturii, deoarece include toate speciile de plante, animale și microorganisme din cadrul agroecosistemului. Biodiversitatea oferă resurse genetice valoroase pentru încrucișarea ulterioară a culturilor. Culturile utilizate astăzi au strămoși în speciile sălbatice sau varietăți care au fost încrucișate sau hibridizate selectiv [2]. Perry [3] a declarat că biodiversitatea are un rol esențial în furnizarea de servicii ecologice, cum ar fi prevenirea eroziunii solului și/sau reglarea microclimatului. Altieri [4] a adăugat că biodiversitatea contribuie la serviciile ecosistemice prin reciclarea substanțelor nutritive sau reglarea populațiilor de dăunători. Cu toate acestea, aceste servicii ecosistemice pot fi păstrate sau menținute numai dacă biodiversitatea este păstrată în agroecosistem [4]. Dacă există o reducere a biodiversității într-un agroecosistem, se pot aștepta intrări de întreținere foarte ridicate, pur și simplu pentru că pierderea biodiversității într-un agroecosistem va determina sistemul să-și piardă capacitatea de a se autosusține .

Una dintre modalitățile de a menține biodiversitatea sau de a o îmbunătăți este reducerea lucrărilor de arat. În prezent, se pare că schimbările în practicile de cultivare a solului și rotația culturilor au o influență mare asupra compoziției faunei solului, inclusiv a dăunătorilor, dar și a organismelor utile. Lucrările de arat au un impact semnificativ deoarece schimbă proprietățile chimice și fizice ale solului. Cercetările realizate de Stinner și House [5] arată că răspunsul populațiilor de dăunători la lucrările reduse de arat variază destul de mult. Lucrările reduse de arat modelează indirect compoziția speciilor microbiomului solului, contribuind la reținerea umidității solului și la modularea temperaturii solului [6]. Compoziția speciilor microbiomului asociat cu lucrările reduse de arat va crea un mediu care poate fi antagonic față de patogeni prin competiție [7].

Implicațiile aratului convențional asupra mediului

Intensificarea arăturilor și utilizarea utilajelor grele au produs opinii mixte în cunoștințele de astăzi [8]. Eroziunea solului a devenit o problemă globală odată cu cererea crescândă pentru resursele primare de sol și reprezintă un risc major pentru productivitatea și durabilitatea agricolă. Astfel, aratul exacerbează eroziunea provocată de vânt și apă, fenomen care devine o problemă din ce în ce mai mare pe măsură ce se pune mai mult accent pe intensificarea agricolă. Aratul perturbă structura solului și îl expune la ploi intense și viteze mari ale vântului, ceea ce duce direct la eroziune [8].

Eroziunea este o cauză importantă a degradării solului, alături de altele, cum ar fi pierderea carbonului din sol, epuizarea nutrienților, compactarea solului, acidificarea sau salinizarea [9]. Problema eroziunii,

în special cea provocată de apă, nu se referă doar la spălarea stratului superior a solului, care în sine reprezintă o mare problemă, dar eroziunea provocată de apă are și alte efecte negative, cum ar fi transportul pesticidelor în pânza freatică, ceea ce poate contamina cursurile de apă și poate amenința aceste ecosisteme.

În ultimii ani, practicile de reducere a arăturilor au devenit din ce în ce mai răspândite, având potențialul de a crește masa solului, de a îmbunătăți sechestrarea carbonului și, astfel, de a contribui la atenuarea schimbărilor climatice [10,11,12]. Reducerea arăturilor rezultă într-o creștere a cantității de materie organică și într-o compactare mai mică a solului, ceea ce duce la îmbunătățirea proprietăților fizice și, astfel, de exemplu, îmbunătățirea capacității solului de a absorbi precipitațiile și de a reține apa, care poate fi ulterior folosită pentru plante [13,14,15].

Tabelul 1. Rezumatul celor patru sisteme de producție: C-IT agricultură intensivă convențională, C-NT agricultură convențională fără arat.

Management practices	**C-IT**		**C-NT**		**O-IT**		**O-RT**	
Tillage	Plough (20 cm), Rotary harrow (5 cm)		—		Plough (20 cm), Rotary harrow (5 cm)		Disk harrow, Rotary harrow (<10cm)	
Weed control	Post-emergence herbicides		Glyphosate, Post-emergence herbicides		Mechanical (Harrow, hoe)			
Fertilization	Mineral (NH_4-N/NO_3-N)				Organic (cattle slurry)			
Management intensity	**C-IT**		**C-NT**		**O-IT**		**O-RT**	
Cover cropping	**C**	**CC**	**C**	**CC**	**C**	**CC**	**C**	**CC**
Energy use (liter fuel ha^{-1} $year^{-1}$)*	54	61	18	22	47	55	25	32
relative scaling§	**0.9**	**1.0**	**0.3**	**0.4**	**0.8**	**0.9**	**0.4**	**0.5**
N supply (kg N ha^{-1} $year^{-1}$)**	100	100	100	100	69	69	69	69
relative scaling§	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**0.7**	**0.7**	**0.7**	**0.7**
Pesticide (kg ha^{-1} active substance)***	2.7	2.7	5.6	5.6	0	0	0	0
relative scaling§	**0.5**	**0.5**	**1.0**	**1.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Averaged intensity score	**2.4**	**2.5**	**2.3**	**2.4**	**1.5**	**1.6**	**1.1**	**1.2**

Intensitatea managementului este estimată pentru fiecare sistem de producție folosind trei inputuri antropogene (utilizarea energiei, controlul buruienilor și fertilizarea). Acești factori au fost folosiți și în diverse studii care evaluează intensitatea utilizării terenurilor agricole [16, 17]. Consumul de energie este măsurat în litri de combustibil pe hectar pe an și include procesarea primară a solului, pregătirea patului de semănat, semănatul, fertilizarea, stropirea și pierderea mecanică în greutate a buruienilor. Semănatul (toate sistemele) și înmulțirea (cu excepția C-NT) au fost incluse în următorul control al chirurgical al tratamentului pentru culturile acoperitoare [18].

Cel mai important factor în determinarea calității solului este materia organică a solului. Schlesinger [19] afirmă că pierderea carbonului din sol în câmpurile de porumb este rezultatul procesării intensive a terenului, ceea ce duce la creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră. Reicosky și Lindstrom [20] au evaluat ajutorul camerei dinamice portabile impactul pe termen scurt al arăturii și al altor procesări a solului relativ la emisiile de dioxid de carbon, carbonul fiind eliberat în măsură mare din sol în decurs de două până la trei săptămâni după procesarea acestuia. În sistemele cu procesare redusă, carbonul din sol se pierde mai puțin, iar cele mai mici pierderi de carbon din sol sunt după procesarea fără arătură a solului. Reicosky și Lindstrom [20] și Reicosky [21, 22] au concluzionat că metodele intensive de procesare a terenului, în special aratul la o adâncime de 0,25 m, afectează diferit acest flux inițial al solului și au sugerat tehnici mai blânde de gestionare a terenului, cum ar fi procesarea conservatoare a solului.

Contextul dintre încălzirea globală și cantitatea de CO_2 din atmosferă a crescut interesul pentru salvarea carbonului în sol în sistemele de producție agricolă, ceea ce a condus la necesitatea de a înțelege cum afectează procesarea solului emisia de gaze cu efect de seră (dioxid de carbon, metan, oxid nitric). Kimble și colaboratorii [23] au afirmat că o procesare corespunzătoare a solului poate contribui la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, deoarece solul agricol joacă un rol important în sechestrarea carbonului. În mod rezonabil, gestionarea organică a terenului joacă un rol cheie în menținerea fertilității solului, proprietăților fizice ale solului și activităților biologice atunci când acești factori sunt necesari pentru producția de alimente și calitatea mediului de viață. De aceea, ar fi potrivit să se implementeze proceduri fără arătură, care vor reduce emisia de oxid de sulf [24,25]. Oxidul nitric are un potențial de încălzire globală de aproximativ 310 ori mai mare decât oxidul de carbon [26] și trebuie inclus în calculul gazelor cu efect de seră, deoarece oxidul de azot este asociat cu utilizarea îngrășămintelor azotate, iar nivelul de azot din sol este afectat de procesarea solului, precum și de carbon [27,28,29].

Efectul rotației culturilor, a culturilor de acoperire și culturilor premergătoare

Starea sănătății solului depinde de o comunitate complexă de organisme care interacționează, inclusiv bacterii, fungi, protozoare, artropode și râme. Resturile vegetale sunt sursa de nutriție pentru aceste organisme. Descompunerea resturilor vegetale mediată de microbiom eliberează energie și nutrienți, permițând acestor organisme de sol să furnizeze servicii ecosistemice esențiale [30, 31].

Au fost efectuate studii comparative ale practicilor agricole organice și convenționale pentru a înțelege dinamica lanțului trofic al solului și pentru a determina dacă aporturile de materie organică sunt avantajoase în comparație cu sursele anorganice, care reprezintă în prezent cele mai mari aporturi pe terenurile agricole [32, 33, 34, 35]. Susținerea dezvoltării sistemelor reziliente este din ce în ce mai importantă astăzi, mai ales pentru că mijloacele de trai ale comunităților depind de aceste sisteme [1].

Sistemele reziliente, îmbunătățirea sănătății solului și alți factori extrem de importanți în lucrările de arătură pot fi îmbunătățiți prin rotația culturilor. Rotația culturilor este prin definiție o secvență sistematică sau repetitivă de culturi cultivate pe mai multe sezoane de recoltă. Alegerea culturilor este influențată în principal de ecologia agroecosistemului și de economia producției agricole [36] și nu este determinată de fermier, sau cel puțin el nu ar trebui să o stabilească. Selecția culturilor depinde de factori edafici, biotici și climatici. Pearson [36] a introdus termenul de "avantaj comparativ", unde această desemnare este legată de adaptarea unei culturi la mediul înconjurător, diferențele în input-urile necesare pentru a produce o anumită cultură și influențele pieței. Acest lucru poate afecta direct practicile de semănat și, prin urmare, rotația culturilor, deoarece dacă avantajul economic este suficient de mare pentru mai multe culturi, fermierul va prioritiza acest lucru și, prin urmare, nu va produce o singură cultură. Culturile acoperitoare fac parte din sistemele rezistente la climă. Acestea sunt definite ca plante cultivate în principal pentru a acoperi solul și a-l proteja de eroziune și pierderea de nutrienți [37, 38]. Culturile acoperitoare pot fi clasificate în atât în climate temperate, cât și tropicale [39, 40]. Culturile acoperitoare sunt recunoscute pentru capacitatea lor de a contribui la diverse servicii ale agroecosistemului [41]. Acestea sunt concepte complexe care implică diferite elemente care interacționează spațial și temporal, ceea ce face dificilă separarea efectelor elementelor individuale de sistemul general [42]. Ecosistemele agricole, destinate în primul rând producției de alimente, furaje, fibre și materii prime industriale, primesc și furnizează servicii agroecosistemului [43].

Rotația culturilor a fost o practică recomandată pentru controlul bolilor plantelor [44]. Diferite specii de culturi crescute în secvență perturbă ciclurile bolilor. De exemplu, în Australia, plantarea de lupin cu frunze înguste sau lupin albastru a redus ratele de infecție cu putregaiul comun al rădăcinilor de grâu în comparație cu monocultura continuă de grâu [45]. Rotația culturilor este deosebit de eficientă pentru controlul nematozilor. În Alabama, rotația cu porumb a condus la creșteri constante ale

randamentului la soia în comparație cu soia continuă sub arătură convențională, în principal datorită tratamentului nematozilor chistici la soia [46]. Practicile de arat pot interacționa cu rotația culturilor în managementul bolilor. În unele cazuri, sistemele de arare conservatoare combinate cu rotația culturilor au dus la un control îmbunătățit al bolilor și la creșteri ale producțiilor în comparație cu cultivarea continuă și arătura convențională [46, 47]. Cu toate acestea, efectele interactive ale rotațiilor și sistemelor de arare asupra organismelor patogene pot fi diferite [48, 49].

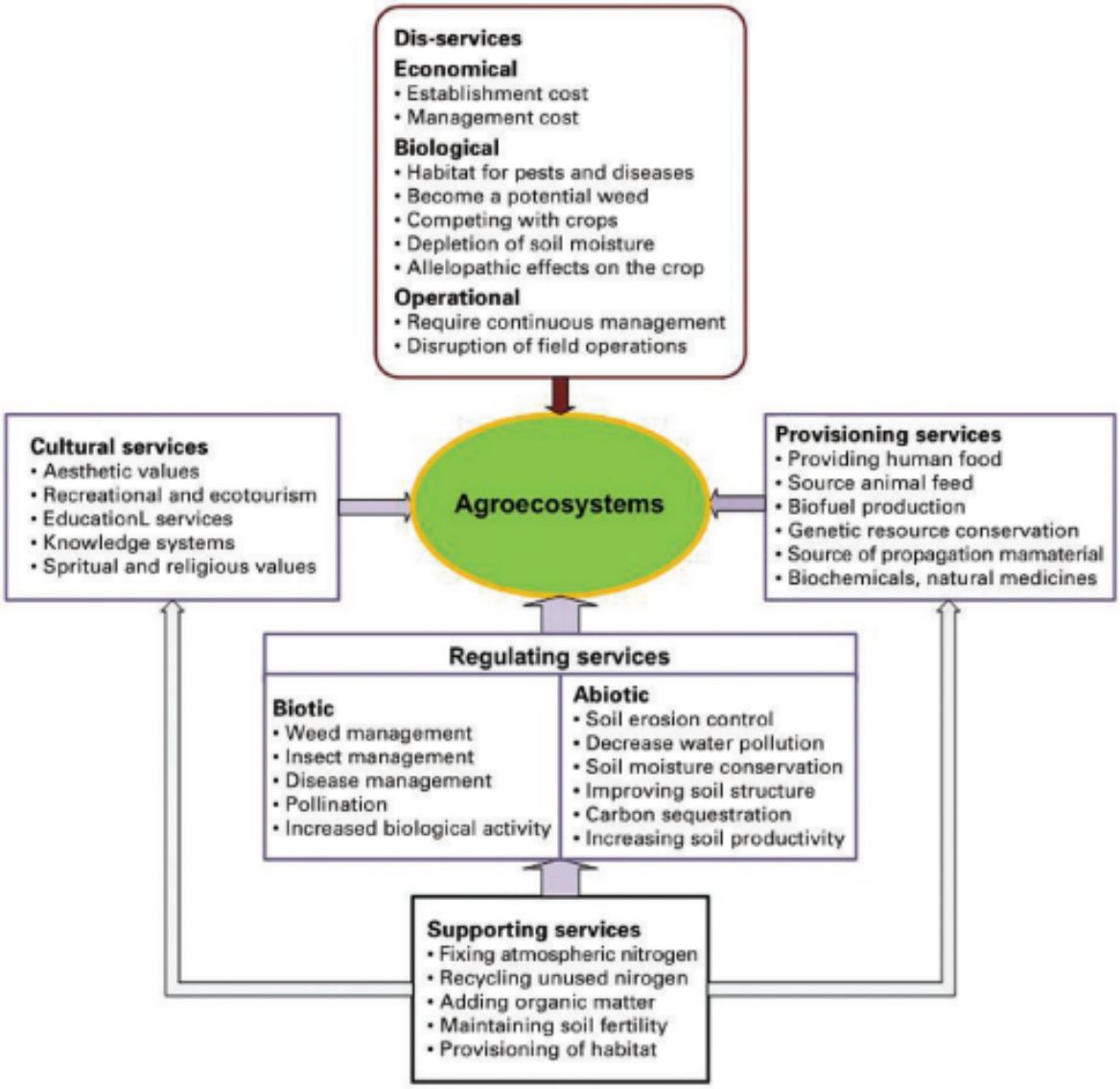


Figura 1. Avantaje și dezavantaje pe care culturile de acoperire le aduc într-un agroecosistem. Mărimea săgeților indică gradul de contribuție [50] .

Culturile de acoperire au principalul rol de a absorbi azotul din sol, reducând eficient pierderea de azot prin lixiviere, o formă de eroziune datorată apei [51, 52]. Eficiența asocierii culturilor este strâns legată de adâncimea sistemelor de rădăcini mai degrabă decât de densitatea acestora [51, 52]. Atunci când culturile de îngrășământ verde sunt integrate în sol prin lucrările de arat, acestea accelerează adesea mineralizarea azotului organic. Această accelerare poate duce la un dezechilibru temporar între eliberarea azotului mineral, care devine predispus la pierderi, și cererea reală de azot a culturilor. Astfel de asincronii pot proveni dintr-o varietate de surse, inclusiv adăugarea îngrășămintelor azotoase anorganice, gunoiul de animale, îngrășămintele verzi sau mineralizarea naturală a azotului din sol.

În unele cazuri, culturile de acoperire prezintă o competiție preventivă, absorbând din soluri nitrații care altfel ar prezenta riscul de lixiviere, și punându-i la dispoziția culturilor următoare [53]. Competiția preventivă este observată în special în timpul creșterii târzii în primăvară a culturilor de acoperire non-leguminoase și în regiunile caracterizate printr-un risc scăzut de lixiviere, cum ar fi zonele uscate. În astfel de situații, optimizarea strategiilor de asociere a culturilor pe parcursul mai multor ani poate fi benefică în ceea ce privește maximizarea disponibilității de azot pentru culturile de valoare.

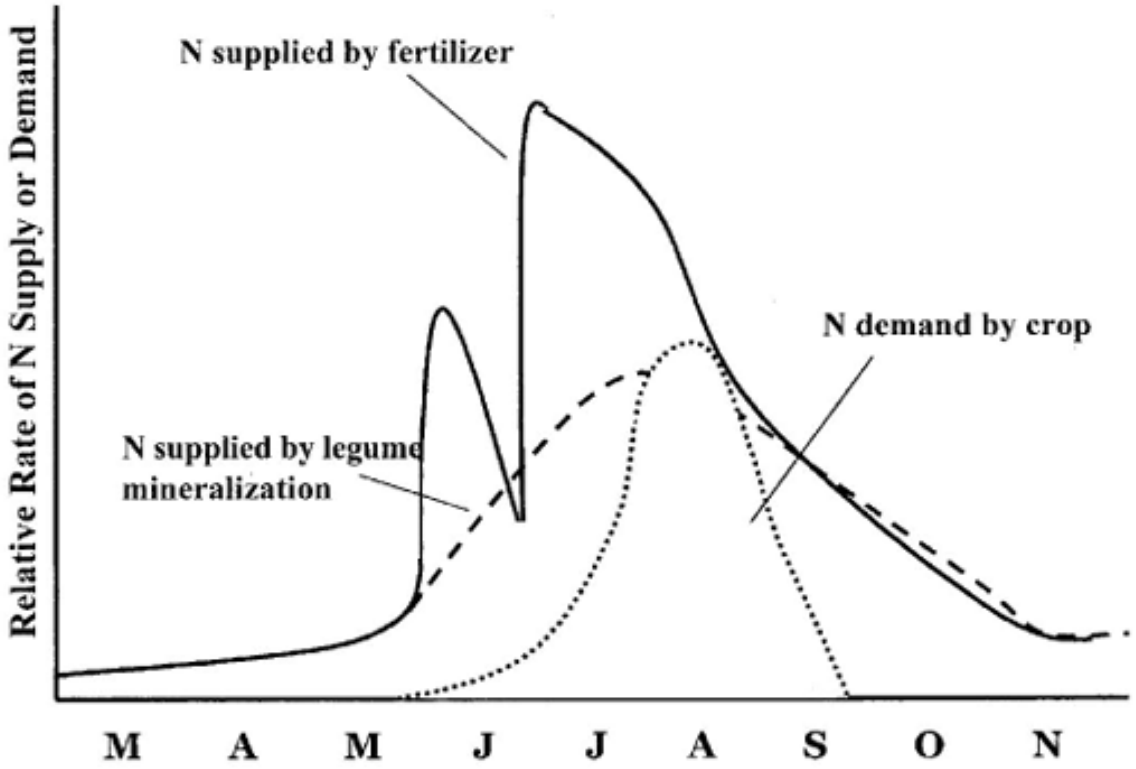


Figura 2. Asincronia între oferta de azot din îngrășăminte sau îngrășăminte verzi și cererea de azot de către culturile ulterioare [54]. M = martie, A = aprilie, M = mai, J= iunie, J = iulie, A = august, S = septembrie, O = octombrie, N = noiembrie

Concluzii

În concluzie, agricultura are un impact semnificativ asupra suprafeței Pământului; terenurile cultivate acoperă aproximativ 12% din suprafața planetei, iar pășunile ocupă aproximativ 26%. Această suprafață agricolă combinată reprezintă aproximativ 38% din suprafața Pământului, făcând agricultura cel mai mare sector care utilizează terenuri. Cu toate acestea, în ciuda creșterilor semnificative în producția de culturi din ultimele decenii, există semne că randamentele culturilor cresc mai lent decât înainte. Practicile de lucrare limitată a solului au câștigat importanță ca mijloc de îmbunătățire a sănătății solului și atenuare a problemelor de mediu asociate lucrărilor intensive ale solului, cum ar fi eroziunea și pierderea de carbon. Rotația culturilor, culturile de acoperire și selecția prealabilă a culturilor sunt componente esențiale ale sistemelor agricole rezistente la climă. Rotația culturilor întrerupe ciclurile bolilor și poate îmbunătăți în ansamblu sănătatea solului. Pe de altă parte, culturile de acoperire contribuie la reducerea pierderilor de azot prin scurgere și pot oferi mai multe servicii ecosistemice. Având în vedere îngrijorările tot mai mari legate de schimbările climatice și agricultura durabilă, devine tot mai important să adoptăm practici agricole care promovează sănătatea solului, reduc impactul asupra mediului și cresc reziliența sistemelor agricole. Integrarea lucrării limitate a solului, rotației strategice a culturilor și utilizarea culturilor de acoperire sunt abordări promițătoare pentru atingerea acestor obiective, contribuind în cele din urmă la o agricultură mai durabilă și mai rezistentă la schimbările climatice. Cu toate acestea, este esențial să realizăm că eficacitatea acestor

practici poate varia în funcție de condițiile locale acestea trebuind adaptate la agroecosisteme specifice pentru a obține cele mai bune rezultate.

Bibliografie

1. Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes (pp. 19-31). Elsevier.
2. Harlan, J. R. (1975). Our Vanishing Genetic Resources: Modern varieties replacement ancient populations that have provided genetic variability for plant breeding programs. Science, 188(4188), 618-621.
3. Perry, D.A., Oren, R., Hart, S.C. (1994). Forest ecosystems. the johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland.
4. Altieri, M.A. (1994). Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Haworth Press, New York, 185 pp.
5. Stinner, B.R., House, G.J. (1990). Arthropods and others invertebrates in conservation-tillage agriculture. Annual review of Entomology, 35(1), 299-318.
6. Krupinsky, J.M., Bailey, K.L., McMullen, M.P., Gossen, B.D., Turkington, T.K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. Agronomy journal, 94(2), 198-209.
7. Cook, R. J. (1990). Twenty-five years of progress towards biological control. Biological control of soil-borne plant pathogens, 1-14.
8. Diamond, J. (2004). Collapse: How Societies Choose to Fail steed Succeed; Viking Adult.
9. Sullivan, P. (2004). Sustainable management of soil-borne plant diseases: soil systems guide. Sustainable management of soil-borne plant diseases: soil systems guide. (IP173).
10. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. science, 304(5677), 1623-1627.
11. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1492), 789-813.
12. Corsi, S., Friedrich, T., Kassam, A., Pisante, M., Sà, J.D.M. (2012). Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
13. Luo, Z., Wang, E., Sun, O.J. (2010). Can no- tillage stimulate carbon sequestration in agriculture soils? A meta- analysis of paired experiments. Agriculture, ecosystems & environment, 139(1-2), 224-231.
14. Ngwira, A.R., Thierfelder, C., Lambert, D.M. (2013). Conservation agriculture systems for Malawian smallholder farmers: long-term effects on crops productivity, profitability and soil quality. Renewable Agriculture and Food Systems, 28(4), 350-363.
15. Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Sayr, K. D. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems. Advances in soil science: food security and soil quality, 1799267585, 137-208.
16. Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukácek, R., Bugter, R. (2006). Assessing the intensity of temperate European agriculture and the landscape scales. European Journal of Agronomy, 24(2), 165-181.
17. Ruiz-Martinez , I., Marraccini , E., Debolini , M., Bonari , E. (2015). Indicators of agricultural intensity and intensification: a review of the literature. Italian Journal of Agronomy, 10(2), 74-84.
18. Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W., van der Heijden, M.G. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. Scientific reports, 7(1), 41911.

19. Schlesinger, W. H. (1986). Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In The changing carbon cycle: A global analysis (pp. 194-220). New York, NY: Springer New York.
20. Reicosky, D.C., Lindstrom, M.J. (1993). Fall tillage method: Effect on short -term carbon dioxide flux from soil, Agronomy journal, 85(6), 1237-1243.
21. Reicosky, D. C. (1997). Tillage-induced CO_2 emission from soil, Nutrient cycling in agroecosystems, 49, 273-285.
22. Reicosky, D. C. (1998). Strip tillage methods: Impact on soil and air quality. In Australian / New Zealand National Soils Conference.
23. Kimble, J.M., Follett, R.F., Cole, C.V. (1998). The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effects. CRC Press.
24. Baggs, E.M., Stevenson, M., Pihlatie, M., Regar, A., Cook, H., Cadisch, G. (2003). Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. Plant and Soil, 254, 361-370.
25. MacKenzie, A.F., Fan, M.X., Cadrin, F. (1997). Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization. Canadian Journal of Soil Science, 77(2), 145-152.
26. Robertson, G.P., Paul, E.A., Harwood, R.R. (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science, 289(5486), 1922-1925.
27. Parkin, T.B., Kaspar, T.C. (2006). Nitrous oxide emissions from corn - soybean systems in the Midwest. Journal of environmental quality, 35(4), 1496-1506.
28. Steinbach, H.S., Alvarez, R. (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no- till in Pampean agroecosystems. Journal of Environmental Quality, 35(1), 3-13.
29. Liu, X.J., Mosier, A.R., Halvorson, A.D., Zhang, F.S. (2005). Tillage and nitrogen application effects on nitrous and nitric oxide emissions from irrigated corn fields. Plant and soil, 276, 235-249.
30. Ball, A.S. (2006). Energy inputs in soil systems. In: Uphoff, N., Ball, AS, Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N., Thies, J. (Eds.), Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC Press, Boca Raton, pp. 79 and 89.
31. Thies, J.E., Grossman, J.M. (2006). The soil habitat and soil ecology. Biological approaches to sustainability soil systems, 59, 78.
32. Henneron, L., Bernard, L., Hedde, M., Pelosi, C., Villenave, C., Chenu, C., Blanchart, E. (2015). Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. Agronomy forum Sustainable Development, 35(1), 169-181.
33. Williams, A., Hedlund, K. (2013). Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. Applied Soil Ecology, 65, 1-7.
34. Overstreet, L.F., Hoy, G.D., Imbriani, J. (2010). Comparing nematode and earthworm communities under combinations of conventional and conservation vegetables production practices. Soil and Tillage Research, 110(1), 42-50.
35. Reganold, J.P., Andrews, P.K., Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C.W., Alldredge, J.R., Zhou, J. (2010). Fruit and soil quality of organic and conventional strawberries agroecosystems. PloS one, 5(9), e12346.
36. Pearson, L. C. (1967). Principles of agronomy. (No Title).
37. Brady, N., Weil, RR (1999). The nature and properties of soil 12th ed. Mac. Pub. Com. New York, 625-640.

38. Sarrantonio, M., Galland, E. (2003). The role of cover crops in North American cropping systems. Journal of Crop production, 8(1-2), 53-74.
39. Liebmann (2000). Integration of soil, crop and weed management in low - external -input farming systems. Weed research, 40(1), 27-47.
40. Teasdale, J.R., Hatfield, J.L., Buhler, D.D., Stewart, B.A. (1998). Cover crops, smother plants, and weed management. Integrated weed and soil management, 247, 270.
41. Teasdale, J. R. (2003). Principles and practices of using cover crops in weed management systems. Labrada, R. (ed.) FAO Plant Production and Protection Paper 120 Add. 1: Weed Management for Developing Countries.
42. Barberi, P., Mazzoncini, M. (2001). Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. Weed Science, 49(4), 491-499.
43. Heal, G.M., Small, A.A. (2002). Agriculture and ecosystems services. Handbook of agricultural economics, 2, 1341.
44. Leighty, C.E. (1938). Crop rotation. pp. 406-430. In: Soils and Men. USDA Yearbook of Agriculture. US Government Printing Office, Washington, DC
45. Reeves, T.G. (1984). Lupins in crop rotations. pp. 207-226. In: Proceedings of the I11 International Lupine Congress. June 4-8, 1984, La Rochelle, France.
46. Edwards, J.H., Thurlow, D.L., Eason, J.T. (1988). Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean, and wheat. Agronomy Journal, 80(1), 76-80.
47. Von Qualen, R.H., Abney, T.S., Huber, D.M., Schreiber, M.M. (1989). Effects of rotation, tillage, and fumigation on premature dying of soybeans. Plant diseases, 73(9), 740-744.
48. Rothrock, C. S. (1987). Take-all of wheat as affected by tillage and wheat-soybean double cropping. Soil Biology and Biochemistry, 19(3), 307-311.
49. Herman, M. (1990). Effect of tillage systems and crops sequence on the rhizosphere microflora of winter wheat. Soil and Tillage Research, 15(3), 297-306.
50. Lemessa, F., Wakjira, M. (2015). Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. Journal of crop Science and Biotechnology, 18, 123-135.
51. Delgado, J. A. (2001). Use of simulations for evaluation of best management practices on irrigated cropping systems. Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 355-381.
52. Thorup-Kristensen, K. (2001). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate -N content, and how can this be measured? Plant and Soil, 230, 185-195.
53. Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Advances in agronomy, 227-302.
54. Crews, T.E., Peoples, M.B. (2005). Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. Nutrient cycling in Agroecosystems, 72, 101-120.

Utilizarea culturilor marginale în scopul producției alimentare

Schimbările climatice afectează în mod semnificativ agricultura în Europa Centrală, influențând randamentul culturilor, sănătatea solului, disponibilitatea apei și gestionarea dăunătorilor și bolilor. Regiunea se confruntă cu temperaturi în creștere, modificări în modelele de precipitații și evenimente meteorologice extreme mai frecvente, cum ar fi secetele și inundațiile. Tabelul 1 prezintă schimbările în temperaturi, precipitații și perioada de vegetație în Europa Centrală în ultimul secol, pe baza datelor provenite din mai multe studii științifice.

Tabelul 1. Modificări ale climatului în ultimul secol în Europa Centrală.

Variabila climatică	Modificări în ultimul secol	Referință
Temperatura medie anuală	Creștere cu 1.5-2.0°C	1
Temperatura iarna	Creștere cu 2.0-3.0°C	2
Temperatura vara	Creștere cu 1.5-2.0°C	1
Precipitații	Creștere iarna, scădere vara	1
Evenimente de precipitații extreme	Creștere în frecvență și intensitate	1
Perioada de vegetație	Extinsă cu 10-30 zile	3

Principalele probleme cauzate de schimbările climatice în producția agricolă sunt provocate mai ales de modificările în distribuția precipitațiilor și creșterea temperaturilor. Acestea afectează apoi alți factori, cum ar fi riscul de eroziune a solului, pierderea nutrienților, modificările în comunitățile de buruieni și apariția unor boli sau dăunători anterior rare. O prezentare generală este dată în Tabelul 2.

Tabelul 2. Principalele probleme cauzate de schimbările climatice asupra producției agricole.

Problema cauzată	Descriere	Referință
Stres termic	Temperaturile ridicate pot cauza stres termic în culturile de cereale, determinând reducerea fotosintezei, creșterea încetinită și randamente mai scăzute. Stresul termic poate, de asemenea, să crească incidența dăunătorilor și a bolilor, reducând în continuare productivitatea culturilor.	4, 5
Stres hidric	Schimbările în modelele de precipitații pot duce la stresul provocat de secetă, ceea ce poate determina reducerea disponibilității de apă pentru culturile de cereale. Stresul provocat de secetă poate duce la producții reduse, calitate slabă a boabelor și eșecul culturilor.	4, 5
Evenimente extreme de vreme	Schimbările climatice cresc frecvența și intensitatea evenimentelor meteorologice extreme, cum ar fi inundațiile, furtunile și grindina. Aceste evenimente pot deteriora culturile, pot reduce randamentul ducând la eșecul recoltelor.	5, 6, 7
Modificări ale bolilor și dăunătorilor	Schimbările climatice determină modificări în distribuția și comportamentul dăunătorilor și bolilor, făcându-le mai dificil de controlat. Acest lucru poate duce la creșterea daunelor la culturi și la scăderea producțiilor.	5
Degradarea solului	Modificările în modelele meteorologice pot cauza eroziunea solului, epuizarea de nutrienți și alte forme de degradare a solului. Acest lucru poate reduce fertilitatea solului, ducând la randamente mai scăzute și la o calitate redusă a recoltelor.	5, 7
Reducerea disponibilității apei	Schimbările în modelele meteorologice pot duce la o disponibilitate redusă de apă, ceea ce poate provoca stres hidric în culturile de cereale. Acest lucru poate duce la randamente reduse, calitate scăzută a boabelor și chiar eșecul culturilor.	5

Strategiile în producția agricolă pentru a reduce impactul negativ al schimbărilor climatice

Agricultura rezistentă la climă implică implementarea diverselor strategii care vizează ajutorarea fermierilor pentru a se adapta la schimbările climatice și a îmbunătății producția agricolă în ciuda provocărilor puse de schimbările climatice. Aceste strategii pot fi utilizate în agricultura rezistentă la climă pentru a îmbunătăți producția diferitelor culturi și pentru a ajuta fermierii să se adapteze la schimbările climatice.

• *Diversificarea culturilor și utilizarea culturilor tolerante la secetă*: Fermierii pot diversifica producția lor de culturi cultivând plante care tolerează diferite condiții climatice. Acest lucru va asigura că alte culturi pot prospera în continuare dacă una dintre ele eșuează din cauza condițiilor meteo nefavorabile.
• *Cultivarea de culturi sau varietăți mixte*: Amestecurile de culturi pot, de asemenea, să se adapteze la condițiile climatice schimbătoare prin selectarea combinațiilor de culturi mai potrivite pentru climatul local sau prin utilizarea amestecurilor mai tolerante la stresuri specifice precum seceta, căldura sau inundațiile.
• *Agricultura conservativă*: Aceasta implică practici precum lucrările reduse la sol, acoperirea solului cu plante de acoperire și intercalarea culturilor, care contribuie la conservarea umidității, reducerea eroziunii și creșterea fertilității solului.
• *Irigarea eficientă*: Sistemele de irigare eficiente precum irigarea prin picurare și aspersiune pot ajuta fermierii să conserve apa și să reducă necesarul de apă pentru producția agricolă.
• *Managementul solului*: Practicile corecte de gestionare a solului precum analizele de sol, fertilizarea și materia organică pot ajuta la îmbunătățirea calității solului, ceea ce poate crește randamentul culturilor.
• *Rotirea culturilor*: Fermierii pot roti culturile pentru a ajuta la gestionarea dăunătorilor și bolilor și pentru a îmbunătăți sănătatea solului.
• *Sistemele agroforestiere*: Acestea implică integrarea copacilor în sistemele agricole, ceea ce poate oferi umbră, reduc eroziunea solului și îmbunătățesc fertilitatea acestuia.
• *Utilizarea informațiilor meteorologice*: Fermierii pot folosi informațiile meteorologice pentru a lua decizii informate despre momentele de plantare și recoltare și alte practici de gestionare a fermei.
• *Utilizarea varietăților îmbunătățite de semințe*: Fermierii pot utiliza varietăți îmbunătățite de semințe care sunt rezistente la dăunători și boli și sunt adaptate condițiilor climatice locale.

În următoarea parte a textului, se acordă atenție diversificării culturilor și utilizării culturilor tolerate la secetă și cultivării de culturi sau varietăți mixte. Celelalte metode menționate fac parte din alte capitole.

Diversificarea culturilor și utilizarea culturilor tolerante la secetă: importanța cerealelor pentru agricultură în condițiile schimbărilor climatice

Schimbările climatice reprezintă provocări semnificative pentru producția de cereale, inclusiv temperaturi crescute, modele schimbătoare de precipitații și evenimente meteorologice extreme mai frecvente. În general, cerealele sunt grupul de culturi cel mai adaptabil la schimbările climatice. Cu toate acestea, unele culturi cerealiere sunt mai bine adaptate la aceste condiții schimbătoare decât altele. Iată câteva exemple de cereale care se descurcă bine în condițiile climatice schimbătoare:

Grâul Einkorn (Triticum monococcum L.)
Studiile au arătat că grâul einkorn are o toleranță mai mare la secetă și plasticitate decât alte varietăți moderne de grâu. Aceasta se datorează în principal sistemului său radicular adânc, care îi permite să acceseze apa din straturile mai adânci ale solului, făcându-l mai puțin dependent de precipitații. În plus, grâul einkorn are un strat gros de ceară pe frunze și tulpini, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin transpirație. Conform multor studii, s-a constatat că grâul einkorn are un randament mai mare în condiții de secetă decât alte specii de grâu [8] .

Grâul Emmer (Triticum diccocum (Schrank.) Schuebl.)

Triticum dicoccum, sau grâul emmer, este o specie antică cultivată de mii de ani. Datorită unor caracteristici ale plantei, este cunoscut pentru capacitatea sa de a tolera condițiile de secetă și plasticitatea. Sistemul său radicular are o rădăcină extinsă care poate accesa apa din straturile mai adânci ale solului, făcându-l mai puțin dependent de precipitații. Studiile au arătat că acest sistem radicular profund permite grâului emmer să mențină creșterea și randamentul în condiții de secetă [9]. Grâul emmer are, de asemenea, un strat gros de ceară pe frunze și tulpini, care reduce pierderea de apă prin transpirație [10]. Acest strat de ceară ajută și la protejarea plantei de temperaturile ridicate și alte stresuri ambientale. Grâul emmer poate ajusta, de asemenea, potențialul osmotic prin acumularea de osmoprotectanți, cum ar fi prolinele și zaharurile solubile, ca răspuns la stresul de secetă. Acest lucru ajută la menținerea echilibrului celular al apei și previne deshidratarea [11]. Plantele pot regla, de asemenea, închiderea stomatelor ca răspuns la stresul hidric, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin transpirație. Datorită acestei reglări stomatale, grâul emmer poate menține rate ridicate de fotosinteză în condiții de secetă [9]. Grâul emmer este o cultură promițătoare pentru regiunile cu resurse limitate de apă și poate fi un instrument valoros în abordarea problemelor de penurie de apă și schimbări climatice.

Grâul Spelta (Triticum spelta L.)

Triticum spelta, cunoscut și sub numele de grâu spelta, este o altă specie de grâu antic cultivată în mod tradițional. De asemenea, este cunoscut pentru capacitatea sa de a tolera condițiile de secetă și plasticitate. Grâul spelta are un sistem radicular extins care poate penetra solul în profunzime și poate absorbi apa din diferite straturi de sol. Studiile au arătat că grâul spelta are o densitate mai mare a rădăcinilor decât alte specii de grâu, ceea ce îl ajută să acceseze apa din straturile mai adânci ale solului și să-și mențină creșterea în condiții de secetă [12]. La fel ca și grâul emmer, grâul spelta are un conținut ridicat de ceară pe frunzele sale, ceea ce reduce pierderea de apă prin transpirație. Studiile au arătat că acest strat de ceară ajută grâul spelta să-și mențină statusul hidric și să prevină deshidratarea în condiții de secetă [13]. Un alt aspect important este ajustarea osmotică. În răspuns la stresul de secetă, plantele pot acumula osmoprotectanți, cum ar fi prolinele și zaharurile solubile. Acest lucru ajută la menținerea echilibrului celular al apei și previne deshidratarea [13]. Prin reglarea închiderii stomatelor în răspuns la stresul hidric, grâul spelta poate reduce pierderea de apă prin transpirație [12].

Meiul (Panicum milliaceum L.)

Meiul este o cultură cerealieră foarte adaptată la condițiile calde și uscate, fiind o alegere excelentă pentru zonele cu disponibilitate limitată de apă. Meiul necesită semnificativ mai puțină apă decât culturile cerealiere precum porumbul sau grâul. Meiul are un sistem radicular fibros care poate penetra solul în profunzime și accesa apa din diferite straturi de sol [14]. Este utilă și abilitatea de a rula frunzele ca răspuns la stresul de secetă [15]. Acest mecanism ajută la menținerea statusului de apă și previne deshidratarea în condiții de secetă. Meiul poate ajusta, de asemenea, potențialul osmotic prin acumularea de osmoprotectanți, cum ar fi prolinele și zaharurile solubile [16]. Efectiv, planta poate regla și închiderea stomatelor în răspuns la stresul hidric, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin transpirație [17].

Sorgul (Sorghum bicolor L.)

Sorgul este o cultură cerealieră de sezon cald cultivată pe scară largă pentru boabe și ca furaj. Sorgul este cultivat tradițional în zone aride ale continentului african. Sistemul său radicular extensiv poate accesa apa din straturile mai adânci ale solului, făcându-l mai puțin dependent de precipitații [16]. Plantele pot rula frunzele în răspuns la stresul hidric, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin transpirație [15]. În răspuns la stresul de secetă, sorgul își poate ajusta potențialul osmotic prin acumularea de osmoprotectanți, cum ar fi prolinele și zaharurile solubile [18]. Sorgul poate regla și închiderea stomatelor în răspuns la stresul hidric, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin

transpirație. Datorită acestei reglări stomatale, sorgul poate menține rate ridicate de fotosinteză în condiții de secetă [19]. Sorgul este o cultură promițătoare pentru regiunile cu resurse limitate de apă, dar necesită temperaturi relativ ridicate pentru vegetație. În condițiile europene, maturizarea este inevitabilă doar în cele mai calde zone. De asemenea, începe să se impună și ca o cultură de furaj verde, unde problemele legate de certitudinea maturizării sunt eliminate.

Hrișca (Fagopyrum exculentum Moench.)

Hrișca este o cultură pseudo-cerealieră adaptată la temperaturi mai reci și poate tolera diverse tipuri de sol. De asemenea, este relativ rezistentă la dăunători și boli, fiind o cultură cu necesar redus de inputuri. Deși în general este considerată o cultură care necesită soluri umede, există dovezi că unele soiuri pot fi relativ tolerante la secetă. Hrișca are un sistem de rădăcini fibros care poate penetra solul în profunzime și poate accesa apa din diferite straturi ale solului [20]. Plantele pot învârti frunzele în răspuns la stresul hidric, ceea ce ajută la reducerea pierderii de apă prin transpirație [21]. Capacitatea de a ajusta potențialul osmotic ajută la menținerea echilibrului celular al apei și previne deshidratarea [22]. Hrișca s-a dovedit a avea o eficiență relativ ridicată a utilizării apei, ceea ce înseamnă că poate produce mai multă biomasă per unitate de apă utilizată decât alte culturi [23]. În ansamblu, hrișca prezintă un anumit potențial de toleranță la secetă, dar sunt necesare mai multe cercetări pentru a identifica soiurile și condițiile specifice în care performează cel mai bine în condiții de secetă.

Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)

Quinoa este o cultură de cereale rezistentă care poate tolera temperaturi extreme, de la îngheț până la căldură intensă. De asemenea, necesită mai puțină apă decât alte culturi de cereale și este foarte rezistentă la dăunători și boli. Quinoa necesită mult mai puțină apă decât alte culturi, ceea ce o face potrivită pentru zonele cu precipitații reduse și irigații limitate. Poate supraviețui cu doar 250-300 mm de precipitații pe an, în timp ce multe alte culturi necesită cel puțin 500-600 mm [24]. Quinoa este cultivată tradițional în regiunea andină a Americii de Sud, caracterizată de condiții aride [25]. A fost cultivată de secole în zone în care alte culturi nu pot crește din cauza lipsei de apă. Quinoa este cunoscută pentru capacitatea sa de a utiliza eficient apa, având o suprafață foliară mică și un sistem de rădăcini profund care îi permite să acceseze apa din straturile inferioare ale solului [26]. Quinoa are o strategie unică pentru evitarea secetei, în care se maturizează rapid și produce semințe înainte de instalarea condițiilor de secetă [24]. În ansamblu, toleranța la secetă și adaptabilitatea la regiunile aride și semi-aride o fac o cultură promițătoare pentru agricultura durabilă în fața schimbărilor climatice și a creșterii lipsei de apă.

Orzul (Hordeum vulgare L.)

Orzul este o cultură interesantă deoarece este cultivată tradițional în regiunea Europei Centrale. Este o cultură potrivită pentru temperaturile mai scăzute și poate tolera diferite tipuri de sol. De asemenea, este relativ tolerant la secetă și necesită mai puțină apă decât alte culturi de cereale, precum porumbul sau grâul. Toleranța la secetă în orz poate fi realizată prin caracteristici cum ar fi sistemele de rădăcini adânci, suprafața redusă a frunzelor și creșterea eficienței utilizării apei [27]. Orzul poate prezenta și o serie de răspunsuri adaptive la schimbările climatice, inclusiv modificări ale momentului apariției stadiilor de dezvoltare, schimbări în distribuție și fenologie, și alterări ale proceselor de creștere și fiziologice [28]. Orzul are un sistem de rădăcini relativ adânc, ceea ce îi permite să acceseze umiditatea solului din straturile mai adânci [29]. Orzul poate, de asemenea, să-și crească toleranța la secetă prin reglarea expresiei genelor, cum ar fi cea a factorului de transcripție DREB1 [30]. Caracteristicile menționate ale orzului fac ca aceste plante să tolereze o gamă largă de condiții climatice, inclusiv temperaturi ridicate și stresul provocat de secetă [31].

Speciile de cereale menționate sunt mai bine adaptate la condițiile climatice în schimbare și pot fi cultivate cu mai puțină apă și mai puține inputuri, ceea ce le face ideale pentru zonele cu resurse

limitate. Aceste culturi sunt, de asemenea, potrivite pentru a fi cultivate în agricultura organică. Fermierii pot îmbunătăți securitatea alimentară și pot crește rezistența la schimbările climatice promovând cultivarea acestor cereale rezistente la climă.

În plus față de proprietățile menționate, care predetermină cultivarea acestor cereale într-un climat în schimbare, este posibil să se utilizeze și un alt avantaj al acestora și anume că acestea sunt tipuri de cereale care au beneficii nutriționale dovedite. În afară de grâul cu coajă (einkorn, emmer, spelt), acestea intră în categoria alimentelor fără gluten.

Principalul avantaj al speciilor de grâu cu coajă este conținutul ridicat de proteină din boabe, care, chiar și în condițiile agriculturii organice, ajunge la 15% sau mai mult. Din punct de vedere nutrițional, conținutul ridicat al fracțiunilor de proteină protoplasmatică este pozitiv. Einkorn și emmer nu sunt potrivite pentru fabricarea produselor cu drojdie clasică; prin urmare, sunt folosite în industria alimentară pentru a pregăti alte produse, cum ar fi pastele. Mai multe informații sunt furnizate în Tabelul 3. Produsul cel mai comun obținut din orz este berea. Cu toate acestea, orzul este o materie primă subevaluată din punct de vedere al prelucrării alimentelor, deoarece din el se pot prepara o gamă largă de produse. Formele descoperite ale orzului sunt cele mai potrivite pentru alimente.

Tabelul 3. Calitatea specifică a producției la speciile de grâu cu teci și orz.

Parametru	Grâu Einkorn	Grâu Emmer	Grâu Spelt	Orz
Conținutul proteic	De obicei aprox. 15%; există genotipuri cu conținut mai mare de 20%.	Ridicat, chiar în condițiile agriculturii organice fără îngrășăminte azotoase industriale. (15-20%).	Ridicat, de obicei 14-19%.	9-12 %, Conțin aminoacizi esențiali, inclusiv lizină, treonină și triptofan.
Produse potențiale	Produse fără drojdie (biscuiți, pâine arabă, orez de cereale).	Pâine fără drojdie, cereale pentru micul dejun, produse extrudate, paste.	Pâine, produse de patiserie, paste, produse extrudate și gata de gătit, bere de secara, cafea de secara.	Terci, ceai, bere.
Dezavantaje	Calitate de coacere scăzută (capacitate redusă de umflare a proteinelor).	Făină cu conținut scăzut de gluten și de calitate slabă la coacere; neadecvată pentru produsele de panificație cu drojdie.	Nu există.	Interes scăzut al consumatorilor.
Avantaje	Conținut ridicat de carotenoizi.	Valoare nutritională superioară (în comparație cu grâul comun).	Bună calitate de coacere, mai bună procesabilitate tehnologică.	Conținut ridicat de beta-glucani
Disponibilitatea produselor	Produsele din grâu einkorn pot fi cumpărate în multe țări (Austria, Germania, Franța, Italia, etc.).	Boabele întregi (descuamate) de grâu emmer, sau chiar făină și paste de grâu emmer, sunt disponibile.	Gamă largă de produse disponibile.	Gamă largă de produse disponibile

Culturile enumerate în Tabelul 4 au avantajul că sunt toate utilizabile pentru produse fără gluten. Acestea sunt culturi tradiționale din care se produc multe produse alimentare tradiționale. Cu toate acestea, multe dintre ele sunt necunoscute consumatorilor din Europa, deci este important să se țină cont de acest fapt în momentul comercializării lor. Principala dezavantaj al quinoa este prețul ridicat.

Tabelul 4. Calitatea specifică a producției de grâu decorticat.

Parametru	Mei	Sorg	Hrișcă	Quinoa
Conținutul proteic	De obicei 10-12%	Între 10-12%, nu conține aminoacizi esențiali.	De obicei10-13%, conținut ridicat de lizină.	Conținut ridicat de proteine, în jur de 14%, ușor digerabile.
Produse potențiale	Terci, lipii, pilaf, bere	Terci, couscous, bere, sirop	Tăieței, terci, ceai, crupe.	Cereale, fulgi, paste făinoase, popcorn.
Dezavantaje	Conținutul de antinutrienți, aroma specifică, prelucrarea dificilă a cerealelor.	Gust amar, potențial de digestibilitate dificilă, procesare.	Aromă specifică, potențial alergic și prelucrare dificilă.	Riscul potențial al saponinelor și conținutul de antinutrienți.
Avantaje	Fără gluten	Fără gluten	Fără gluten	Fără gluten
Disponibilitatea produselor	Disponibilitate limitată în Europa	Disponibilitate limitată în Europa	Gamă largă de produse disponibile.	Gamă largă de produse disponibile.

Cultivarea culturilor sau a amestecurilor de soiuri: Posibilități de utilizare a culturilor mixte pentru creșterea rezistenței la schimbările climatice

Amestecul de culturi sau culturile intercalate implică plantarea a două sau mai multe culturi împreună în același câmp. Această practică agricolă poate contribui la atenuarea impactului negativ al schimbărilor climatice asupra producției agricole prin creșterea biodiversității și reducerea riscului de eșec al culturilor. Iată câteva modalități în care amestecul de culturi poate fi folosit ca un instrument împotriva impactului negativ al schimbărilor climatice:

• Diversificarea producției agricole: Sistemul de culturi intercalate permite cultivarea diferitelor culturi în același câmp, ceea ce poate crește rezistența sistemului de culturi la impactul schimbărilor climatice. De exemplu, un studiu efectuat în China a constatat că intercalarea culturilor de porumb cu soia a crescut stabilitatea randamentului și a redus riscul de eșec al culturilor în comparație cu monocultura.

• Îmbunătățirea sănătății solului: Amestecul de culturi poate îmbunătăți sănătatea solului prin creșterea diversității de microorganisme din sol și îmbunătățirea ciclului de nutrienți. Acest lucru poate îmbunătăți fertilitatea solului și poate crește productivitatea culturilor, ceea ce poate ajuta fermierii să se adapteze la condițiile climatice în schimbare. De exemplu, un studiu efectuat în Brazilia a constatat că intercalarea porumbului și fasolea a îmbunătățit fertilitatea solului și a crescut randamentul culturilor în comparație cu monocultura.

• Managementul dăunătorilor și bolilor: Sistemul de cultivare intercalat poate, de asemenea, să ajute la gestionarea dăunătorilor și bolilor prin perturbarea habitatelor dăunătorilor și reducerea răspândirii bolilor. Acest lucru poate reduce necesitatea pesticidelor și fungicidelor chimice, care pot avea impacte negative asupra mediului. De exemplu, un studiu efectuat în Canada a constatat că intercalarea grâului cu mazăre a redus incidența putregaiului comun al rădăcinilor în comparație cu monocultura.

Iată câteva exemple de amestecuri de culturi folosite în Europa Centrală pentru a atenua impactul negativ al schimbărilor climatice asupra producției agricole. Grâul de toamnă și fasolea de câmp au fost testate în Germania. Interplantarea grâului de toamnă și a fasolei de câmp a îmbunătățit fertilitatea solului și a crescut randamentul culturilor în comparație cu monocultura. Amestecul a redus, de asemenea, riscul de scurgere a azotului și a îmbunătățit eficiența absorbției nutrienților [32]. Secara și leguminoasele au fost crescute intercalat în Polonia. Intercalarea secarei cu leguminoase precum vicia, mazărea sau trifoiul a îmbunătățit structura și fertilitatea solului, a redus eroziunea și a crescut stabilitatea producției [33]. În Ungaria, experimentele cu intercalarea culturilor de porumb și soia a dus la creșterea producției, îmbunătățirea fertilității solului și reducerea riscului de infestare cu insecte și boli [34]. Oamenii de știință austrieci au efectuat cercetări asupra intercalării grâului de toamnă cu trifoiul și au îmbunătățit toleranța la secetă, deoarece trifoiul ajută la menținerea umidității solului și la reducerea evapotranspirației. Acest amestec îmbunătățește structura solului și fertilitatea [35]. În Germania, a fost testată intercalarea orzului cu leguminoase (mazăre sau bob). S-a observat o

creștere a stabilității randamentului și a toleranței la secetă în comparație cu monocultura [36]. În Elveția, a fost testată intercalarea porumbului cu fasole și s-a constatat că aceasta crește toleranța la secetă și îmbunătățește sănătatea solului prin sporirea ciclului nutrienților și a materiei organice din sol [37]. Mai multe exemple, inclusiv efectul declarat precum și referința bibliografică, sunt prezentate în Tabelul 5.

Tabelul 5. Exemple de avantaje ale sistemelor de culturi intercalate.

Beneficiu	Mecanism	Exemplu	Referință
Diversificarea producției	Crește reziliența sistemului de culturi	Intercalarea grâului de iarnă cu bobul în Germania	32
Îmbunătățirea sănătății solului	Îmbunătățește structura și fertilitatea solului	Intercalarea secarei cu leguminoase în Polonia	38
Gestionarea dăunătorilor și bolilor	Reduce riscul infestărilor	Intercalarea porumbului cu soia în Ungaria	34
Îmbunătățirea toleranței la secetă	Menține umiditatea solului și reduce evapotranspirația	Intercalarea grâului de iarnă cu trifoi în Austria	35
Îmbunătățirea toleranței la secetă	Oferă nutrienți suplimentari sistemului	Intercalarea orzului cu leguminoase în Germania	39
Îmbunătățirea toleranței la secetă	Îmbunătățește ciclul nutrienților și materia organică din sol	Intercalarea porumbului cu fasole în Elveția	37
Îmbunătățirea toleranței la secetă	Crește eficiența utilizării apei în sol	Intercalarea sorgului cu iarba de Sudan în Ungaria	32
Stimularea sechestrării carbonului	Îmbunătățește sănătatea solului și atenuează schimbările climatice	Intercalarea porumbului cu soia în Germania	41

Varietățile mixte, care implică cultivarea unei mai mari diversități de varietăți de grâu într-o cultură, pot aduce mai multe beneficii în fața schimbărilor climatice și pot ajuta la menținerea stabilității producției:

- Rezilienţă climatică: Cu un climat în schimbare, evenimentele meteorologice extreme precum secetele, valurile de căldură și ploile abundente devin tot mai frecvente. Cultivarea unei amestecături de varietăți de grâu cu trăsături diferite poate contribui la creșterea rezilienței la astfel de evenimente. De exemplu, unele varietăți pot avea sisteme de rădăcini mai adânci care pot accesa apa din straturile mai profunde ale solului, în timp ce altele pot avea trăsături care să le permită să tolereze mai bine căldura sau seceta.

- Rezistenţă la dăunători şi boli: Cultivarea unei amestecături de varietăți de grâu poate reduce riscul izbucnirii dăunătorilor și bolilor. Atunci când mai multe varietăți sunt cultivate împreună, dăunătorii și bolile sunt mai puțin susceptibile de a se răspândi și pot fi mai ușor controlate.

- Stabilitatea producţiei: Cultivarea unui amestec de varietăți de grâu poate contribui la asigurarea unor randamente mai stabile în timp. Deoarece diferitele varietăți au modele diferite de creștere și răspunsuri la condițiile de mediu, unele varietăți pot performa mai bine într-un an, în timp ce altele pot performa mai bine în alt an. Prin cultivarea unei amestecături de varietăți, fermierii pot asigura mai bine că vor avea o recoltă bună în orice an dat.

- Eficienţă nutritivă: Unele varietăți de grâu sunt mai bine adaptate la anumite condiții ale solului sau niveluri ale nutrienților. Cultivarea unei amestecături de varietăți poate contribui la asigurarea utilizării

eficiente a tuturor nutrienților din sol, conducând la o utilizare mai eficientă a nutrienților și, în mod potențial, la creșterea producției.

- Biodiversitate îmbunătățită: Cultivarea unei amestecături de varietăți de grâu poate contribui la creșterea biodiversității în fermă. Prin diversificarea culturii, fermierii pot oferi un habitat pentru o gamă mai largă de specii de plante și animale, ceea ce poate ajuta la menținerea unui ecosistem sănătos și echilibrat.

- Reducerea impactului asupra mediului: Cultivarea unei amestecături de varietăți de grâu poate reduce impactul agriculturii asupra mediului prin reducerea necesității de inputuri sintetice precum îngrășămintele și pesticidele. Diversitatea culturii poate ajuta la controlul natural al dăunătorilor și bolilor, reducând necesitatea intervențiilor chimice.

- Îmbunătățirea sănătății solului: Cultivarea unui amestec de varietăți de grâu poate îmbunătăți sănătatea solului prin promovarea creșterii microorganismelor benefice din sol. Diferitele varietăți pot avea structuri diferite ale rădăcinilor și pot produce compuși diferiți care pot contribui la promovarea diversității și activității microbiene din sol.

Bibliografie

1. IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
2. Beniston, M., Rebetez, M., Giorgi, F., Marinucci, M. R. (1997). *An analysis of regional climate change in Switzerland*. Theoretical and Applied Climatology, 58(1-2), 221-243.
3. Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Wu, X. (2006). *European phenological response to climate change matches the warming pattern.* Global Change Biol., 12(10), 1969.
4. Lobell, D. B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011). *Climate trends and global crop production since 1980*. Science, 333(6042), 616-620.
5. Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M. (2011). *Climate impacts on agriculture: Implications for crop production*. Agronomy Journal, 103(2), 351-370.
6. Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobell, D. B. (2014). *Food security and food production systems.* In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press. 485-533.
7. FAO (2021). *Climate change and food security: Risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. http://www.fao.org/3/cb3696en/cb3696en.pdf
8. Saeidi, M., Abdoli, M., Kafi, M. (2015). Effects of drought stress and sowing date on yield and yield components of einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.). Journal of Agricultural Science, 7(12), 41-50.
9. Teklu, Y., et al. (2019). *Phenotypic diversity and evaluation of Ethiopian emmer wheat (Triticum dicoccon Schrank) accessions for drought tolerance.* Agriculture, 9(7), 144.
10. Shahid, M.A., et al. (2011). *Emmer wheat (Triticum dicoccum) for saline and drought stress tolerance.* African Journal of Biotechnology, 10(50), 10131-10139.
11. Karimizadeh, R., et al. (2016). *Assessment of drought tolerance of emmer wheat (Triticum dicoccum Schübler) lines by stress tolerance indices*. Cereal Research Communications, 44(4), 624-634.

12. Royo, C., et al. (2016). *Spelt wheat under Mediterranean conditions: Yield and grain quality responses to drought stress*. Field Crops Research, 196, 331-342.
13. Chen, C., et al. (2014). *Comparative analysis of drought-responsive proteins in wheat and its progenitor species Triticum urartu*. Journal of Proteomics, 109, 20-31.
14. Reddy, B.V.S., et al. (2019). *Pearl Millet: A Climate-Resilient Crop for Sustainable Dryland Agriculture*. Frontiers in Plant Science, 10, 42.
15. Babar, M.A., et al. (2016). *Leaf rolling and membrane stability index in relation to drought tolerance in different sorghum genotypes*. Pakistan Journal of Botany, 48(2), 689-696.
16. Kholova, J., et al. (2010). Drought stress characterization of post-rainy season (rabi) sorghum in India. Field Crops Research, 117(2-3), 221-230.
17. Babu, P.P., et al. (2016). *Expression of drought-responsive genes and identification of molecular markers associated with drought tolerance in finger millet (Eleusine coracana)*. Plant Biotechnology Reports, 10(2), 89-96.
18. Reddy, B.V.S., et al. (2015). *Drought tolerance mechanisms in sorghum and their relevance to breeding for drought-resistant crops.* Annals of Applied Biology, 166(2), 117-137.
19. Ludlow, M.M., Muchow. M.J. (1990). *A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments.* Advances in Agronomy, 43, 107-153.
20. Pan, Y., et al. (2020). *Root distribution and drought tolerance of Fagopyrum tataricum in karst and non-karst areas.* Journal of Soil and Water Conservation, 75(3), 267-274.
21. Wang, Y., et al. (2019). *Effect of drought stress on the growth, photosynthesis, and antioxidant system in buckwheat seedlings.* Polish Journal of Environmental Studies, 28(2), 789-799.
22. Zhang, Y., et al. (2016). *Physiological response of buckwheat to drought stress and water-saving irrigation.* Journal of Agronomy and Crop Science, 202(4), 317-326.
23. Fukuda, Y., et al. (2018). *Differences in water-use efficiency among upland crops and their dependence on environmental conditions in a cool temperate region*. Field Crops Research, 218, 93-101.
24. Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Verniau, A. (2016). *The global expansion of quinoa: trends and limits*. Frontiers in Plant Science, 7, 622.
25. Jacobsen, S. E. (2017). *Adaptation of quinoa (Chenopodium quinoa) to northern European agriculture: studies on the developmental pattern.* Journal of Agronomy and Crop Science, 203(1), 38-47.
26. Zerpa, D., Arancibia, R. A., & Marconi, P. L. (2015). *Drought resistance mechanisms of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): a review.* Chilean Journal of Agricultural Research, 75(1), 49-57.
27. Farooq, M., Hussain, M., Siddique, K. H., & Ozturk, L. (2014). *Drought stress in plants: An overview. In Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Cham, pp. 1-33.
28. Porter, J. R., & Semenov, M. A. (2005). *Crop responses to climatic variation.* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 360(1463), 2021-2035.
29. Manschadi, A. M., Christopher, J., deVoil, P., Hammer, G. L., & Meinke, H. (2006). *The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments*. Functional Plant Biology, 33(9), 823-837.
30. Hussain, S. S., Kayani, M. A., Amjad, M., Transcription, & Shah, T. (2011). *Plant signaling for drought tolerance.* Pakistan Journal of Botany, 43(5), 2235-2243.
31. Ceccarelli, S. (2014). *Adaptation to climate change—Sustainable agriculture. In Plant breeding and farmer participation.* Springer, Dordrecht, pp. 171-188.
32. Koepke, B. et al. (2021). *Intercropping of winter wheat and field beans: effects on soil fertility, yield and nitrogen leaching.* Agriculture, Ecosystems & Environment, 313: 107359.
33. Siczek, A. et al. (2019). *Intercropping of winter rye with legumes improves soil structure and fertility in organic farming system.* Soil and Tillage Research, 186: 119-129.

34. Árendás, T. et al. (2017). *Intercropping of maize and soybean increases efficiency of resource use and grain yields*. Journal of Agronomy and Crop Science, 203(3): 209-217.
35. Herzog, F. et al. (2019). *Intercropping winter wheat and clover improves soil structure and reduces drought stress*. Plant and Soil, 442(1-2): 85-100.
36. Kage, H. et al. (2016). *Intercropping with legumes improves the drought tolerance and yield of barley under field conditions.* Journal of Agronomy and Crop Science, 202(2): 125-135.
37. Seufert, V. et al. (2012). *Intercropping for the management of pests and diseases in vegetable agroecosystems: a review.* Agronomy for Sustainable Development, 32(2): 369-382.
38. Siczek, A. et al. (2019). *Intercropping of winter rye with legumes improves soil structure and fertility in organic farming system.* Soil and Tillage Research, 186: 119-129.
39. Kage, H. et al. (2016). *Intercropping with legumes improves the drought tolerance and yield of barley under field conditions.* Journal of Agronomy and Crop Science, 202(2): 125-135.
40. Nyéki, J. et al. (2020). *Yield and yield stability of sorghum and sudangrass in mono- and intercropping under dryland conditions*. Agronomy, 10(9): 1376.
41. Fischer, J. et al. (2020). *Maize-bean intercropping yields in Northen Germany are comparble to those of pure silage maize.* European Journal of Agronomy, 112: 125947.

Culturi alternative pentru producerea de biomasă

Importanța surselor alternative de energie și culturilor furajere

Biomasa provenită din sursele alternative de energie și culturi furajere este o sursă de energie prin care este posibilă atât producerea căldurii, electricității, a diferitelor tipuri de combustibili în formă gazoasă, solidă și lichidă [1], cât și a furajelor utilizabile pentru animalele unei ferme [2]. Biomasa, printre care și culturile alternative utilizate pentru producerea energiei, sunt considerate surse de energie regenerabilă (SER), contribuind la atenuarea efectelor negative datorate încălzirii globale [3].

În acest sens, este foarte importantă multifuncționalitatea biomasei, în aspecte cum ar fi: producerea de hrană, energie și furaje, conservarea biodiversității, servicii cu impact asupra societății. De asemenea, aduce oportunități pentru managementul și cercetarea strategică în domeniul forestier, agricultură și managementul pajiștilor pentru a combate încălzirea globală [4,5], contribuind pozitiv și asupra sistemelor de cultură rezistente la schimbările climatice.

Importanța culturilor alternative pentru producerea de biomasă poate fi rezumată în concordanță cu trei mari aspecte: social, economic și de mediu. În cazul beneficiilor sociale, aceste culturi pot fi benefice pentru obținerea de noi resurse de energie regenerabilă, care la rândul lor pot crește siguranța energetică și pot îmbunătății balanța comercială. Acest lucru va duce la apariția unor resurse alternative de angajare în zonele rurale. Producerea culturilor energetice ar putea rezulta și în crearea de asociații sau cooperative ale fermierilor. Cultivarea acestor resurse ar putea duce la îmbunătățirea serviciilor de educație, instruire și asistență acordate fermierilor. Din perspectiva beneficiilor economice, producerea culturilor energetice poate duce la dezvoltarea unor piețe noi și profitabile (bio-combustibili, chimicale, materiale, hrană, furaje, etc.) care să asigure fermierilor surse noi de venit și locuri de muncă. Încorporarea culturilor energetice poate promova dezvoltarea structurilor economice regionale și poate crea produse asociate cu valoare ridicată .

Din perspectiva culturilor rezistente climatic, beneficiile asupra mediului sunt esențiale, deoarece producerea de culturi pentru biomasă lignocelulozică (culturi energetice în acest caz) are potențialul de a asigura o plajă largă de beneficii cum ar fi îmbunătățirea calității apei, fitoremediere și tratarea apelor reziduale și nămolurilor, reducerea emisiilor de carbon și creșterea biodiversității. Chiar și problema degradării solului poete fi atenuată cultivând plante erbacee perene cu timp de rotație scurt. Mulțumită implementării sistemului de culturi energetice, presiunea asupra resurselor naturale finite poate fi redusă. Culturile energetice pot promova semnificativ utilizarea terenurilor marginale, susținând fauna, habitatele naturale și, per total, agro-biodiversitatea [6].

Energia alternativă și potențialul culturilor furajere în raport cu pericolul impus de secetă

Unul din cele mai mari pericole pentru agricultură este seceta. Seceta poate afecta semnificativ funcționarea tuturor sistemelor de culturi și trebuie adresată corespunzător. Energia alternativă sau culturile energetice pot aduce soluții în acest sens. În contextul schimbărilor climatice, seceta este deseori considerată o mare amenințare asupra ecosistemelor. Stresul hidric limitează cantitatea de biomasă mai mult decât toți ceilalți factori de stres biotic sau abiotic împreună. Frecvența și extinderea locală a sezoanelor uscate crește constant. Recent, s-au adeverit multe din scenariile prezicând pentru Europa și regiunea Mediteraneeană frecvente perioade secetoase și valuri de căldură [7], la fel ca majoritatea scenariilor legate de schimbările climatice care au prezis fluctuații extreme ale precipitațiilor alternând cu perioadele de secetă [8] sau cele prezicând un consum crescut de apă pentru agricultură. Unul din cele mai întâlnite efecte ale secetei asupra culturilor este creșterea lungimii rădăcinilor, tipică pentru plantele anuale, mai ales culturile agricole [9]. Șansele plantelor de supraviețuire în condiții de secetă extremă sunt mai mari atâta timp cât se poate întârzia reducerea potențialului apei în protoplasmă (abilitatea de a întârzia uscarea) și cu cât protoplasma se poate usca

fără a produce daune (abilitatea de a întârzia uscarea). Toleranța la diferite umidități ale solului depinde mult și de stadiul de dezvoltare a plantelor [8]. Un necesar de apă scăzut trebuie înțeles ca abilitatea unei specii de a supraviețui în condiții limitate de umiditate, indiferent de recoltă. În cazul culturilor rezistente la secetă s-a observat că acestea au stomatele deschise chiar și atunci când apa lipsește. Unele plante își rulează frunzele (ca în cazul unor ierburi energetice) [10]. Sistemele de culturi includ în mod alternativ un număr de plante energetice, tocmai datorită rezistenței lor la stres hidric și necesarului redus de apă [11,12]. Trebuie făcută diferența între secetă în sol, caracterizată de o lipsă a apei disponibile în sol, și secetă atmosferică. Cea din urmă este periculoasă mai ales pentru că se instalează rapid, culturile nefiind capabile să se adapteze modificărilor. Rezistența plantelor la stres hidric nu este aceeași pe parcursul unui sezon. Rezistența scade cel mai mult în așa numitele perioade critice.

Rezistența la secetă

Plantele (în principal culturile agricole) pot fi adaptate pentru a rezista la secetă. Rezistența la secetă este o proprietate care permite plantelor să îndure o perioadă de secetă (deficit de apă în sol) sau o perioadă caracterizată de temperaturi ridicate și asociată cu aer uscat fără o deteriorare semnificativă sau o reducere a producției. Speciile care sunt inerent rezistente la secetă sau au un necesar redus al consumului de apă pot fi de asemenea selecționate pentru sistemele de producere a plantelor. Acest lucru se referă mai exact la selecția culturilor energetice alternative propice pentru stocarea energiei sau ca furaje [11,12]. Combinația rezistenței la secetă și a celei de a rezista la temperaturi ridicate este avantajoasă pentru regiunile aride, dar aceste culturi nu sunt foarte potrivite în zone cu o variabilitate mare a vremii, doar ca o componentă a unei adaptabilități mai largi [9]. Rezistența la secetă este o proprietate complexă deoarece depinde de mai mulți factori: extinderea și puterea sistemului de rădăcini, raportul dintre masa supra și subterană, particularități morfologice și anatomice ale tulpinii și frunzelor care pot influența managementul apei, capacitatea regenerativă și viteza de dezvoltare, etc. Genetica rezistenței la secetă este complexă datorită unei multitudini de factori care o condiționează și o influențează [13]. Rezistența la secetă este o caracteristică complexă, fiind astfel dificil de testat, spre deosebire de alte proprietăți, doar în condiții de câmp, unde există un număr ridicat de factori de stres, reproductibilitatea rezultatelor în ani diferiți fiind dificilă. Toleranța și rezistența la secetă în general pentru diferite specii și varietăți ale unei culturi se bazează pe câteva legi fiziologice [9]. Testarea rezistenței la secetă este dificil de realizat ca metodă. Mai degrabă se aleg metode de laborator care compară formarea masei de plantă în condiții de secetă și condiții în care are loc irigarea, camere climatice, sau se folosesc metode indirecte. În câmp se compară producția obținută ca rezultat al cultivării de varietăți noi în zone uscate și în zone în care variabilitatea climei este redusă.

Culturi energetice alternative

Există deja culturi selectate cu potențial de producere a bioenergiei pentru zone europene, culturi care îndeplinesc cerințele legate de eficiența industriei bioenergetice. Nu toate culturile au calitățile necesare și, astfel, trebuie identificate plantele și tehnicile potrivite pentru fiecare zonă agroecologică, cu scopul de a îmbunătății continu reducerea costurilor legate de pre-tratament, cultivare și conversie. Dintre culturile cu potențial pentru producerea de bioenergie în diferite zone ale Europei amintim: porumbul, muștarul, cânepa, inul, ricinul, trifoiul sau lucerna, sfecla de zahăr, rapița, floarea soarelui, cartofii, grâul, alte cereale, sorgul, cardonul, trestia uriașă, iarba albă, iarba de argint (*Miscanthus*), iarba comutatoare (*Panicum virgatum*), eucaliptul, plopul și salcia. Aceste culturi sunt diferite în ceea ce privește recolta, clasificarea agricolă și în raport cu mediul și sustenabilitatea geografică [5].

Culturi energetice anuale versus culturi perene

Alegerea culturii energetice alternative celei mai potrivite este crucială mai ales în termeni de strategie și eficiență pentru înlocuirea celor tradiționale și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră [14]. Culturile alternative selectate ar trebui să aibă o recoltă ridicată și un potențial energetic mare, pe lângă un impact minim asupra mediului [15]. Decizia de a implementa culturi anuale sau perene poate fi deschisă. Eficiența energetică totală, adică raportul dintre energia consumată și cea câștigată, este mai mare pentru culturile perene decât cele anuale, depinzând de recoltă și intensitatea cultivării [16,17]. Efectele pozitive ale culturile perene asupra mediului rezidă mai ales datorită nivelului de acoperire a solului, a sechestrării mai ridicate a CO_2 [18,19] și promovării biodiversității [20]. În general, acestea au un impact mai bun asupra mediului decât culturile anuale și sunt asociate cu o cantitate mai mare de biomasă rezultată, stabilitate crescută a energiei curate și impact mai mic asupra mediului [21]. Alegerea suprafeței pentru a cultiva plante energetice și culturi furajere trebuie să se bazeze în primul rând pe potențialul recoltei, intensitatea producției și tipul de tehnologie utilizată [15,17]. De asemenea, producerea culturilor anuale poate deveni mai prietenoasă cu mediul, de exemplu atunci când se reduce numărul lucrărilor efectuate asupra solului, când se realizează rotația culturilor, iar solul poate avea o capacitate ridicată pentru stocarea carbonului [22]. Avantajele culturilor energetice anuale sunt bine-cunoscute, constând, printre altele, în rutina tehnologiilor de producție, flexibilitatea de schimbare a tipului de cultură și distribuția acestora, precum și posibilitatea de utilizare parțială a recoltelor pe piața alimentară, de furaje și influențând prețurile energiei.

Utilizarea culturilor alternative pentru energie și furaje și combaterea schimbărilor climatice

Activitățile din agricultură au un impact negativ semnificativ asupra mediului, mai ales datorită utilizării terenurilor, a fertilizatorilor și consumului energetic implicat. Cel mai mare potențial pentru îmbunătățirea acestei situații implică creșterea cantității de biomasă produsă și a randamentului energetic, adoptarea unor practici agricole mai puțin invazive și cultivarea exclusivă a culturilor perene [23]. Pe de altă parte, unul din dezavantajele culturilor eco-energetice este că acestea concurează pe terenul arabil cu culturile utilizate în alimentație [24]. Acest lucru nu este valabil și pentru furaje deoarece scopul principal al acestora este de a produce biomasă pentru a hrăni animalele. Astfel, se recomandă plantarea culturilor energetice mai ales în zone marginale [25] sau în cele în care producția agricolă este limitată, ori pe soluri degradate [26]. În general, există niște criterii principale pentru a determina sustenabilitatea energetică a culturilor: utilizarea și schimbarea destinației întinderilor de pământ, amprenta hidrică a culturilor energetice, impactul acestora asupra biodiversității [20], schimbările climatice, stocarea carbonului, atenuarea producerii și ciclului de viață al gazelor cu efect de seră, precum și menținerea fertilității solului [5].

Pentru a aplica principiile sustenabilității, este necesară identificarea unor modalități eficiente din punct de vedere economic care, cel puțin parțial, să evite producerea gazelor cu efect de seră în agricultură. Dacă ar fi să ne gândim la limitarea producerii gazelor cu efect de seră într-un anumită tehnică de cultivare, este necesar să ne îndreptăm atenția mai întâi asupra surselor acestora. Gazele cu efect de seră provin în principal din producerea și utilizarea fertilizatorilor pe bază de azot, emisii legate de producerea acestor fertilizatori și aplicarea lor. Soluția generală legată de combaterea emisiilor de gaze cu efect de seră în agricultură poate fi reducerea cantității de fertilizatori [22,27]. În fond, scăderea dozelor de fertilizator utilizați în sectorul agricol a fost considerată de mult timp o activitate cheie pentru reducerea emisiilor de N_2O și NO. Cantitatea de gaze cu efect de seră din agricultură este foarte mult influențată și de sistemul de management. Sistemele convenționale din agricultură se bazează pe introducerea unei cantități mai mari de fertilizatori organici sau minerali acest lucru fiind un factor cheie pentru limitarea emisiilor de N_2O și NO din sol. N_2O poate fi considerat principalul gaz cu efect de seră iar managementul ecologic al sistemelor produce de obicei o cantitate

mai mică (inclusiv de CO_2) datorită folosirii unei cantități mai mici de fertilizator [28]. Cele mai mari emisii se consideră a fi cele legate de producția și utilizarea fertilizatorilor minerali, iar consecințele aplicării acestora în sectorul agricol și mai ales în obținerea diferitelor culturi arată că fertilizatorii pe bază de azot reprezintă o problemă relativ complexă. De exemplu, Boehmel și colaboratorii [15] au găsit că fertilizatorii pe bază de azot sunt asociați cu un consum de energie de 41-64% în culturile anuale și de 17-45% în culturile permanente. La doze de azot mai ridicate nu mai apare o creștere semnificativă a biomasei [29]. Eficiența fertilizatorilor utilizați scade cu creșterea dozei deoarece planta nu este capabilă să asimileze cea mai mare parte din fertilizator care ajunge mai ușor în apă sau în aer în forma așa numită de emisii de câmp [30]. Unul dintre avantajele generale ale ierburilor perene este legat de necesitățile de nutrienți și alți compuși chimici utilizați pentru producerea acestora, mai mici decât în cazul culturilor anuale [31].

O altă modalitate prin care se poate reduce producerea gazelor cu efect de seră este înlocuirea culturilor tradiționale cu altele care sunt potrivite pentru scopul vizat cum ar fi nutrețuri și scopuri energetice. În mod similar, reducerea emisiilor poate fi realizată prin cultivarea mai puțin intensivă a culturilor perene [32,33]. Acestea pot fi de exemplu ierburi perene care sunt potrivite și datorită proprietăților pe care le au, specii foarte productive de culturi anuale și perene, sau o combinație a acestora care a fost deja selectată și implementată [34]. Chiar și așa, unele culturi cum ar fi de exemplu porumbul nu pot fi înlocuite în întregime din perspectiva producerii biomasei [17,35]. Dar, din punctul de vedere al limitării emisiei gazelor cu efect de seră se pot folosi la cultivarea porumbului diferite soluții printre care rotația și încorporarea de culturi, sisteme no-tillage [22,36] sau un management eficient al fertilizării cu azot [37]. Nu în ultimul rând, datorită naturii culturilor perene și a necesităților reduse pentru fertilizare, ne așteptăm ca aceste culturi alternative utilizate pentru producerea biomasei să aibă un impact mai scăzut asupra mediului în ciclul lor de viață decât culturile tradiționale anuale cultivate până în prezent [38].

Potențialul de creștere a recoltei

Posibilitatea îmbunătățirii potențialului recoltei depinde de alegerea potrivită a culturilor și genotipurilor pentru o anumită locație având în vedere și diferitele tipuri de sol și climat. Dacă se urmărește producerea sustenabilă de energie alternativă sau culturi furajere, practicile de cultivare pentru culturile energetice trebuie optimizate mai degrabă decât maximizate, fiind preferate sistemele cu necesități scăzute de nutrienți și alte substanțe agrochimice. Tehnicile tradiționale de ameliorare, selecția și hibridizarea plantelor sunt în general lente. De exemplu, majoritatea ierbii de argint (*Miscanthus*) cultivată în Europa la ora actuală derivă din plante cu cromozomi triploizi sterili propagați prin tăiere și susceptibili la îngheț târziu. Astfel, cercetările viitoare pot fi îndreptate spre creșterea productivității prin reducerea sensibilității la temperaturi scăzute.

Datorită experienței curente limitate în ameliorarea plantelor, ne așteptăm ca în următorii ani acest domeniu să avanseze considerabil mai ales în ceea ce privește randamentul producției culturilor bioenergetice, de exemplu prin plante modificate genetic sau utilizarea altor tehnologii. Scopurile viitoare ale ameliorării unor astfel de specii sunt legate de cantitate (creșterea cantității de biomasă obținută) și calitate (de exemplu structura plantei sau natura chimică a materialului brut), în același timp cu creșterea rezistenței plantelor la fluctuațiile climatice și susținerea unor sisteme de culturi cu impact redus asupra mediului. Deși speciile modificate genetic pot fi acceptabile când vine vorba de culturi energetice, mai degrabă decât cele utilizate pentru alimentație sau furaje, există în continuare motive de îngrijorare legate de impactul pe care acesta le-ar putea avea asupra mediului datorită trecerii genelor de la plante non-native la cele native înrudite. Ca urmare, s-ar putea ca biotehnologiile non-genetice (cum ar fi selecția speciilor tolerante la secetă sau îngheț) să fie mult mai atractive [39].

Perspective

În general, cercetarea, dezvoltarea și managementul agronomic al culturilor energetice este cu mult în urmă față de cea a culturilor anuale utilizate pentru hrană. Motivul este legat mai ales de faptul că, în trecut nu a fost luat în seamă rolul strategic al agriculturii în producerea energiei. Această situație s-a schimbat recent datorită creșterii îngrijorării legate de mediu și costului ridicat al combustibililor fosili. Este de așteptat ca producerea culturilor energetice să fie benefică pentru dezvoltarea unor noi piețe, susținerea unor structuri economice regionale, asigurarea de surse alternative de locuri de muncă în zona rurală, promovarea utilizării terenurilor limitrofe, reducerea nivelului de dioxid de carbon și limitarea dependenței de resurse centralizate. Astfel, pe termen lung, implementarea sistemelor de culturi energetice ar trebui să asigure venituri, sustenabilitate în raport cu mediul, securitate energetică, flexibilitate și reproductibilitate [6].

Bibliografie

1. Knápek, J., Haas, R., Jílková, J. (2010). *Energy for sustainable development II*: CZ-AT EEG 2010 : research papers of Czech-Austrian Energy Expert Group. Praha: Alfa Nakladatelství, 2010. ISBN 9788087197363.
2. Moore, J. E. (1980). Forage crops. *Crop quality, storage, and utilization*, 61-91.
3. Scheer, H. (2005). Energy Autonomy: The Economic, Social and Technological Case for Renewable Energy (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781849771122S
4. Dhillon, R. S., von Wuehlisch, G. (2013). Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and bioenergy*, 48, 75-89.
5. Lopez-Bellido, L., Wery, J., Lopez-Bellido, R. J. (2014). Energy crops: prospects in the context of sustainable agriculture. *European journal of agronomy*, 60, 1-12.
6. Zegada-Lizarazu, W., Elbersen, H. W., Cosentino, S. L., Zatta, A., Alexopoulou, E., Monti, A. (2010). Agronomic aspects of future energy crops in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *4*(6), 674-691.
7. Walter, J., et al. (2011) Do plants remember drought? Hints towards a drought-memory in grasses. *Environmental and Experimental Botany*., 71, p. 34-40.
8. Fay, P. A., Schultz, M. J. (2009) Germination, survival, and growth of grass and forb seedlings: Effects of soil moisture variability. *Acta Oecologica*., 35, p. 679-684
9. Bláha, L. *Hodnocení vybraných vlastností semen trav a jejich význam pro hodnocení suchovzdornosti*. In Osivo a sadba. PAZDERŮ, K. Vydání 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze - Katedra rostlinné výroby, 2009. s. 143-149
10. Kincl, M., Krpeš, V. (2006) *Základy fyziologie rostlin*. Ostrava: Ostravská univerzita. 220 s
11. Koçar, G., Civaş, N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable and sustainable energy reviews*, *28*, 900-916.
12. Islam, M. A., Obour, A. K. (2021). Drought physiology of forage crops. In *Handbook of plant and crop physiology* (pp. 567-578). CRC Press.
13. Graman, J., Čurn, V. (1998) Šlechtění rostlin (obecná část). České Budějovice: ZF JU, 133 s.
14. Vaughan, N. E., Gough, C., Mander, S., Littleton, E. W., Welfle, A., Gernaat, D. E., Van Vuuren, D. P. (2018). Evaluating the use of biomass energy with carbon capture and storage in low emission scenarios. Environmental Research Letters, 13(4), 044014.
15. Boehmel, C., Lewandowski, I., Claupein, W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural systems*, 96(1-3), 224-236.
16. Kára, J. (2006). Moderní zemědělské bioplynové stanice. *Agromagazín*. 7 (11), 62–65.
17. Bernas, J., Bernasová, T., Gerstberger, P., Moudrý, J., Konvalina, P., Moudrý, Jr., J. (2021). Cup plant, an alternative to conventional silage from a LCA perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(2), 311-326.

18. Clifton-Brown, J. C., Stampfl, P. F., Jones, M. B. (2004). Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global change biology*, 10(4), 509-518.
19. Deckmyn, G., Muys, B., Garcia Quijano, J., Ceulemans, R. (2004). Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beech forest to short-rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model. *Global Change Biology*, 10(9), 1482-1491.
20. Chmelíková, L., Wolfrum, S. (2019). Mitigating the biodiversity footprint of energy crops–A case study on arthropod diversity. *Biomass and Bioenergy*, 125, 180-187.
21. Ericsson, K., Rosenqvist, H., Nilsson, L. J. (2009). Energy crop production costs in the EU. *Biomass and bioenergy*, 33(11), 1577-1586.
22. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Scholes, B. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.
23. Jury, C., Benetto, E., Koster, D., Schmitt, B., Welfring, J. (2010). Life Cycle Assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid. *Biomass and Bioenergy*, 34(1), 54-66.
24. Ochodek, T., Koloničný, J., Janásek, P. (2006). *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. ISBN, 80, 248-1207.
25. Lewandowski, I., Weger, J., Van Hooijdonk, A., Havlickova, K., Van Dam, J., Faaij, A. (2006). The potential biomass for energy production in the Czech Republic. *Biomass and Bioenergy*, 30(5), 405-421.
26. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G., Morgan, T. J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1-33.
27. Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., El-Hage Scialabba, N., Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226-18231.
28. Bos, J. F., de Haan, J., Sukkel, W., Schils, R. L. (2014). Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 68, 61-70.
29. Koppensteiner, L. J., Kaul, H. P., Piepho, H. P., Barta, N., Euteneuer, P., Bernas, J., Neugschwandtner, R. W. (2022). Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization, and environment. *European Journal of Agronomy*, *140*, 126591.
30. Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P., Scialabba, N. (2009). Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *Ökologie & Landbau*, 141, 32-33.
31. Massé, D., Gilbert, Y., Savoie, P., Bélanger, G., Parent, G., Babineau, D. (2010). Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. *Bioresource technology*, 101(24), 9536-9541.
32. Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., Smith, P. (2009). *Cool farming: Climate Impacts of Agriculture and Mitigation Potential* (Eds J. Bellarby, B. Foereid, A. Hastings, P. Smith). Scotland, Aberdeen, 44.
33. Lehtomäki, A., Viinikainen, T. A., Rintala, J. A. (2008). Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass and bioenergy*, 32(6), 541-550.
34. Středa, T. a Z. Strašil. (2014) *Pěstování rostlin pro nepotravinářské účely speciální část*. Brno: Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta. ISBN 978-80-7509-005-8.

35. Grieder, C., Dhillon, B. S., Schipprack, W., Melchinger, A. E. (2012). Breeding maize as biogas substrate in Central Europe: I. Quantitative-genetic parameters for testcross performance. *Theoretical and Applied Genetics*, 124(6), 971- 980.
36. Antille, D. L., Chamen, W. C., Tullberg, J. N., Lal, R. (2015). The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: a critical review. *Transactions of the ASABE*, 58(3), 707-731.
37. Millar, N., Robertson, G. P., Grace, P. R., Gehl, R. J., Hoben, J. P. (2010). Nitrogen fertilizer management for nitrous oxide (N2O) mitigation in intensive corn (Maize) production: an emissions reduction protocol for US Midwest agriculture. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 15(2), 185-204.
38. Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., Effenberger, M. (2016). Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1291-1300.
39. Sims, R. E., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G., Smith, P. (2006). Energy crops: current status and future prospects. *Global change biology*, *12*(11), 2054-2076.

Culturi intercalate și agroforestiere

Ca practici agricole inovatoare și sustenabile, culturile intercalate și agroforestiere sunt componente esențiale ale agriculturii rezistente la schimbările climatice. Aceste abordări valorifică diversitatea și complementaritatea pentru a reduce impactul schimbărilor climatice asupra agriculturii.
Intercalarea culturii, care impune cultivarea simultană a mai multor specii apropiate între ele, maximizează utilizarea eficientă a parcelelor și minimizează vulnerabilitatea la condiții meteorologice haotice. Aceste practici sunt similare cu cele agroforestiere care integrează copaci și arbuști în sisteme agricole pentru a asigura condiții vitale cum ar fi umbrirea culturilor în timpul valurilor de căldură și acționând ca paravane în timpul furtunilor. Ambele practici contribuie la îmbunătățirea calității solului prin reglarea ciclului nutrienților și au un rol crucial în stocarea carbonului pentru a limita emisiile de gaze cu efect de seră.

Culturile intercalate

Intercalarea culturilor este o tehnică agricolă bine stabilită caracterizată prin cultivarea simultană a două sau mai multe culturi în cadrul aceluiași câmp [1]. Această practică urmărește creșterea productivității culturilor prin capitalizarea resurselor disponibile și procese ecologice care rămân neutilizate dacă doar una din specii ar fi cultivată. Prin cultivarea mai multor specii în apropiere una de cealaltă, intercalarea maximizează utilizarea eficientă a pământului și resurselor rezultând în final o creștere a producției [2].

Intercalarea culturilor poate să fie o modalitate interesantă de a întări rezistența la schimbările climatice a culturilor cultivate în condiții europene. Există multe motive pentru aceasta. Este important să fie utilizate diverse culturi deoarece intercalarea permite cultivarea unui amestec de specii care diferă prin ciclul de dezvoltare, structura rădăcinii și necesitățile legate de mediu. Această diversitate poate ajuta la limitarea riscurilor asociate cu evenimentele meteorologice extreme cum ar fi seceta sau ploile puternice. De exemplu, o cultură rezistentă la secetă poate fi intercalată cu una care preferă umiditatea ridicată, asigurând astfel un nivel de productivitate ridicat chiar dacă condițiile meteorologice sunt mai puțin favorabile pentru una dintre culturi [3].

Intercalarea culturilor poate îmbunătății eficiența utilizării resurselor deoarece favorizează utilizarea mai eficientă a apei, nutrientilor și luminii. Acest lucru este important în mod special în regiuni în care modificările climatice au dus la creșterea variabilității disponibilității resurselor. Deoarece nevoile diferitelor culturi sunt complementare, intercalare acestora poate asigura o utilizare mult mai eficientă a resurselor [4].

În timpul schimbărilor climatice, managementul dăunătorilor și a bolilor este mult mai dificil de realizat. Intercalarea culturilor poate influența ciclurile de viață a diferiților dăunători, reducând astfel răspândirea acestora, ceea ce duce la o reducere a utilizării pesticidelor și la menținerea sănătății culturilor. Prin prisma modificării modului în care dăunători și bolile acționează datorită schimbărilor climatice, intercalarea culturilor poate asigura un mecanism de apărare natural [5].
Pe termen lung, sustenabilitatea producției de plante pentru alimentație trebuie să aibă în vedere menținerea sănătății solului și creșterea potențialului de stocarea carbonului. Când se utilizează un sistem de culturi intercalate, structura solului poate fi îmbunătățită, la fel și fertilitate acestuia, ceea ce face ca solul să fie mai rezistent la evenimente meteorologice extreme. De exemplu, utilizarea legumelor în culturile intercalate poate duce la fixarea azotului, îmbunătățindu-se astfel sănătatea solului. Solurile sănătoase pot rezista mai bine stresului cauzat de schimbările climatice. Mai mult, creșterea cantității de materie organică din sol datorată sistemelor intercalate poate contribui la stocarea carbonului care este esențială pentru a limita schimbările climatice [6].

Figura 1: Metode de intercalare [6].



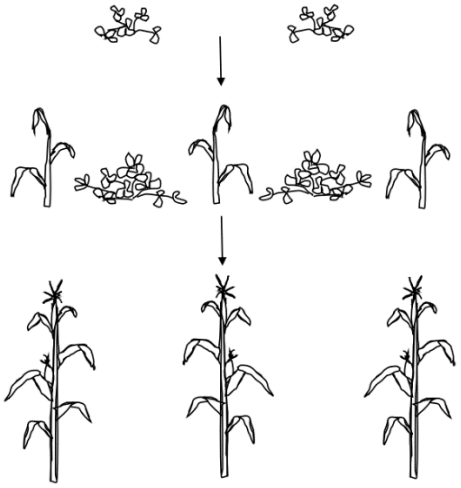
Intercalarea între rânduri: Două sau mai multe specii sunt cultivate simultan, din care cel puțin una crește pe rânduri.



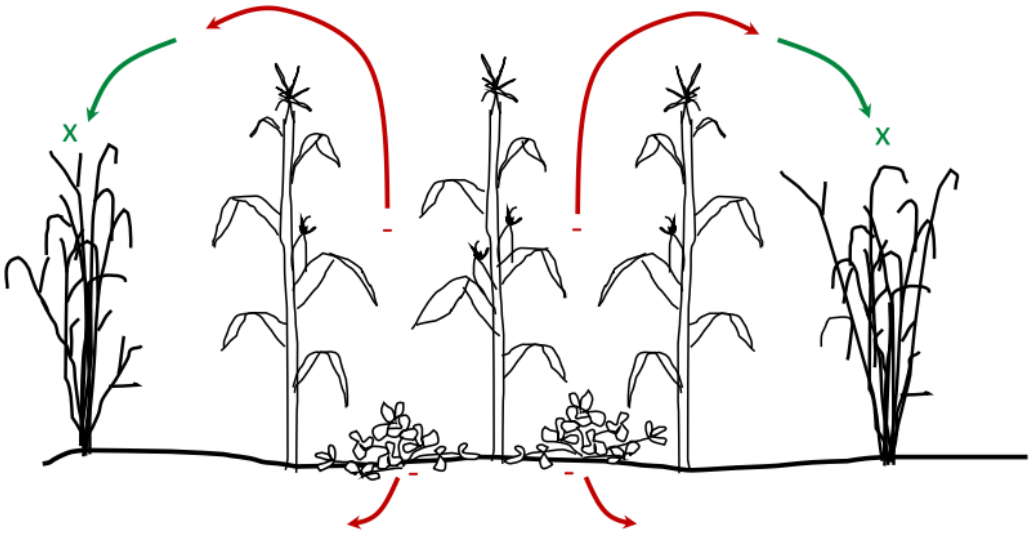
Intercalarea între fâșii: Se cultivă două sau mai multe specii la distanță suficientă pentru a permite accesul separat al utilajelor dar suficient de aproape pentru a interacționa.



Intercalarea mixtă: Se cultivă două sau mai multe specii împreună fără a urmării o distribuție strictă pe rânduri.



Intercalarea în releu: O a doua cultură se plantează într-una existentă pe parcursul dezvoltării acesteia dar înainte de recoltare.



Intercalarea cu plante capcană: Se adoptă un sistem specific de management al dăunătorilor în care o “capcană” atrage dăunătorii departe de cultura principală.

Pentru a asigura securitatea alimentară pe termen lung este importantă menținerea stabilității culturilor deoarece schimbările climatice pot duce la o creștere a fluctuațiilor temperaturii și la creșterea impredictibilității vremii. Intercalarea culturilor poate stabiliza producția deoarece performanța unei culturi poate fi compensată de lipsa de performanță a unei alteia în condițiile schimbărilor care au loc [8].

Beneficiile economice sunt de asemenea importante deoarece, prin utilizarea culturilor intercalate sursele de venit ale fermierilor se diversifică aceștia putând beneficia de mai multe recolte de pe același teren [9]. Diversitatea poate fi un buffer financiar împotriva culturilor nereușite sau a fluctuațiilor de preț datorate diferitelor evenimente legate de evenimente asociate cu schimbările climatice.

Sistemele de culturi intercalate pot fi de mai multe tipuri incluzând intercalarea între rânduri, fâșii, mixtă, în releu, intercalarea cu plante capcană, fiecare cu o diferită abordare și beneficii.

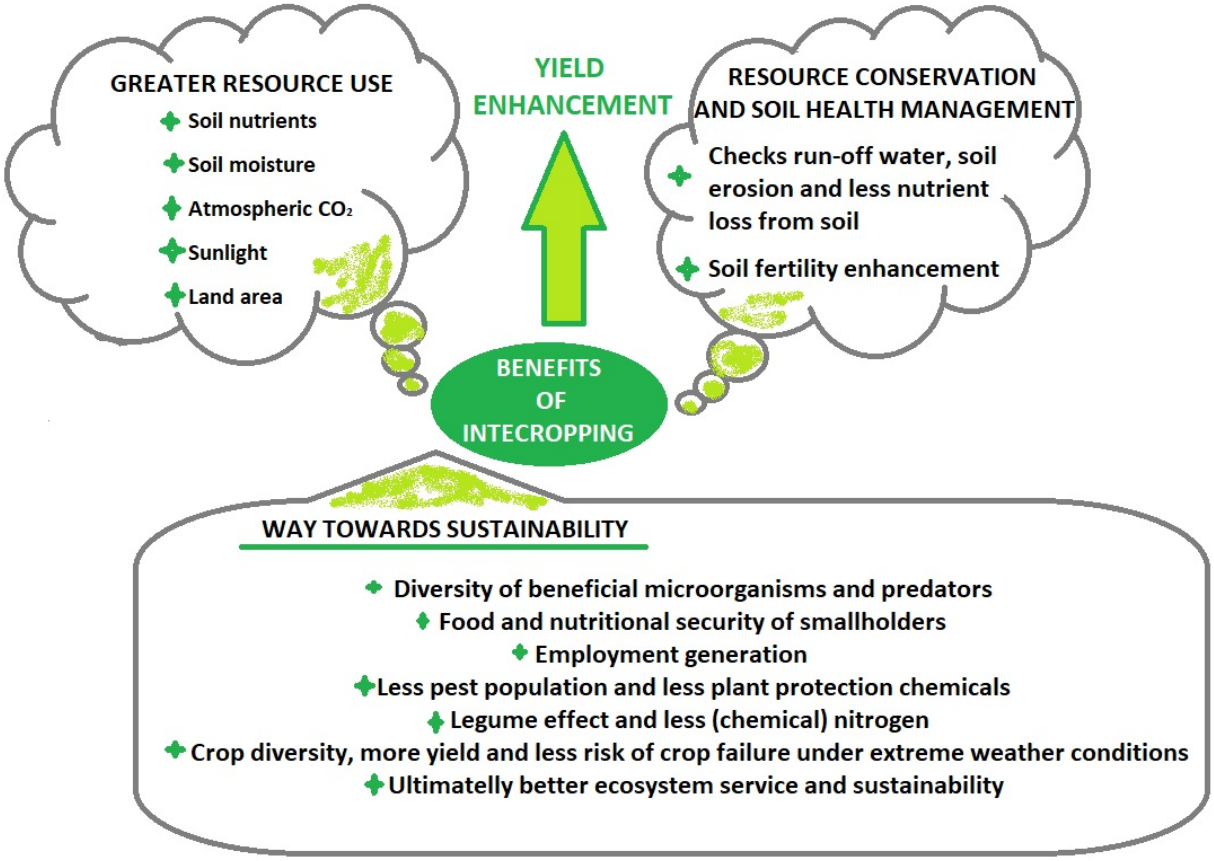


Figura 2: Beneficii ale sistemelor de intercalare a culturilor [9].

Sistemele de culturi intercalate au o importanță din ce în ce mai mare în agricultura europeană deoarece oferă beneficii multiple printre care creșterea biodiversității, îmbunătățirea sănătății solului, presiune redusă datorată dăunătorilor și creșterea eficienței utilizării resurselor. Această metodă se aliniază practicilor agricole sustenabile și prietene cu mediul, o prioritate în politica europeană.

Importanța sistemelor de culturi intercalate în agricultura europeană este subliniată de potențialul acesteia de a contribui la securitatea alimentară, rezistența climatică și reducerea cantității de chimicale folosite, în acord cu țintele legate de sustenabilitate ale Uniunii Europene. Mai multe țări europene promovează intercalarea prin diferite mecanisme de susținere, incluzând fonduri pentru cercetare, educație și proiecte legate de agricultură și mediu.

Este de așteptat ca pe termen scurt politica europeană să se dezvolte și să susțină dezvoltarea sistemelor intercalate de culturi. Acest aspect ar putea implica stimulente, subvenții și programe de diseminare a cunoștințelor care să încurajeze răspândirea acestor sisteme. În plus, modificările de

politici se pot focaliza pe procese administrative de eficientizare care să creeze un mediu propice și un cadru legal pentru facilitarea implementării sistemelor intercalate. Aceste ajustări sunt menite să maximizeze beneficiile încorporării sistemelor intercalate, contribuind astfel la creșterea sustenabilității și rezilienței sectorului agricol european.

Culturi agroforestiere

Utilizarea culturilor agroforestiere este o practică sustenabilă de management al terenurilor care combină tehnicile din agricultură cu cele forestiere pentru a crea sisteme integrate și diversificate de utilizare a terenurilor. Acest domeniu este unul sustenabil și are un potențial promițător pentru captarea și stocarea carbonului în sol [10], oferind posibilitatea de a crește rezistența la schimbările climatice a agriculturii europene și de a îmbunătății sustenabilitatea acesteia.

Diversificarea culturilor și surselor de venit în contextul creșterii rezilienței în sistemele agroforestiere oferă un amestec dinamic între specii de copaci și culturi rezultând în multiple produse și surse de venit [11]. Această diversificare este critică pentru fermieri ajutându-i să se adapteze la condițiile climatice în schimbare prin distribuirea riscurilor.

În sistemele agroforestiere copacii joacă rol de pivot, crescând retenția apei și prevenind eroziunea solului, ceea ce este de importanță covârșitoare atunci când avem de-a face cu secetă sau ploi intense, evenimente asociate cu schimbările climatice [12]. Mai mult, sistemele agroforestiere contribuie activ la stocarea carbonului în biomasa copacilor și îmbunătățirea materiei organice din sol, luptând împotriva schimbărilor climatice și reducând emisiile de gaze cu efect de seră [13].

Aceste sisteme sunt și campioanele biodiversității, crescând reziliența ecosistemelor în fața schimbărilor climatice. În același timp, diferite specii de plante agricole și copaci creează un habitat propice faunei și insectelor care pot fi benefice în lupta împotriva dăunătorilor [14].

În plus, sistemele agroforestiere facilitează adaptarea la modificările de temperatură și precipitații oferind umbră și paravan pentru celelalte culturi și pentru animale [10]. Această adaptare este deosebit de importantă în regiuni susceptibile la evenimente meteorologice extreme. Integrarea copacilor în sistemele agroforestiere crește fertilitatea solului și îmbunătățește structura acestuia, solul devenind astfel mai puțin sensibil la provocările legate de schimbările climatice cum ar fi stresul datorat vremii sau dezechilibrul nutrienților [15]. Nu în ultimul rând, copacii din sistemele agroforestiere produc un microclimat local, limitând astfel efectele temperaturilor extreme și reducând pagubele datorate vânturilor puternice. Acest control micro climatic este extrem de important în contextul schimbărilor climatice [16].

Sistemele agroforestiere care integrează copacii cu culturi agricole au început să fie recunoscute pentru beneficiile lor imense. Aceste sisteme se utilizează în diferite forme cu scopul unui management sustenabil al terenurilor în fața schimbărilor climatice, pentru creșterea securității alimentare și pentru a limita impactul modificărilor climatice. Este o practică extensiv întâlnită în Asia, Africa, America Latină și America de Nord, mai ales în țările în curs de dezvoltate [17]. Regiunile în care aceste sisteme sunt puternic dezvoltate includ zona sub-sahariană africană și Asia de sud-est, unde aceste sisteme sunt puternic înrădăcinate în practicile agricole tradiționale.

În Europa, culturile agroforestiere au început să fie din ce în ce mai cunoscute pentru potențialul lor de a crește sustenabilitate agricolă, a conserva biodiversitatea și ecosistemele [18]. Au fost lansate diferite programe ale Uniunii Europene (UE) și politici naționale pentru a susține inițiativele agroforestiere. Țări, precum Franța, Spania și Portugalia sunt cunoscute ca pionieri în promovarea sistemelor agroforestiere, asigurând stimulente financiare și asistență tehnică pentru a susține adoptarea acestora.

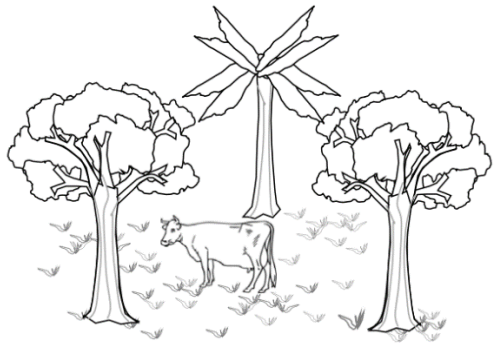
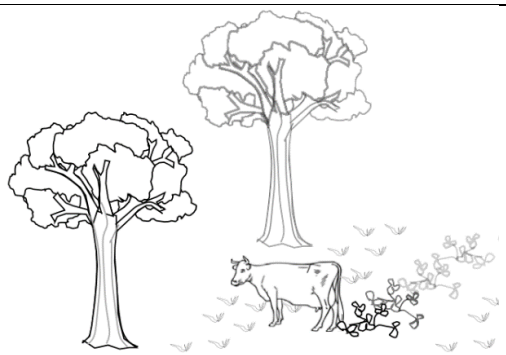
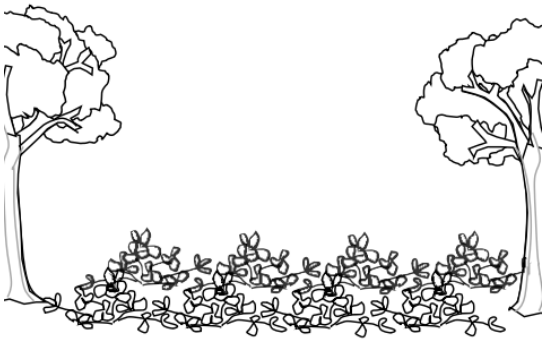
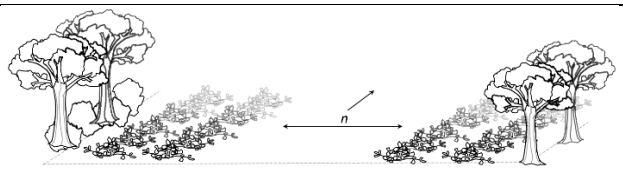
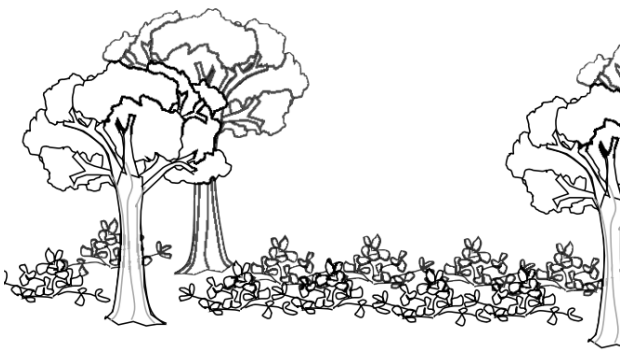
	
Silvo-pastorale: Combină creșterea copacilor cu pășunile pentru animalele domestice, în zone sălbatice sau ferme.	Agro-silvo-pastoral: Combină copacii, culturi agricole și animale.
	
Agrosilvicultură: Combină culturi agricole și copaci în aceeași zonă.	Plantare aleatorie: Copacii sunt plantați aleator pe teren.
	
Plantare la margini: Copacii delimitează terenul formând o graniță.	Tampon riveran: Fâșii liniare de vegetație permanentă (copaci, arbuști) sunt plantate în apropierea unui ecosistem acvatic pentru a menține sau îmbunătății calitatea apei.
	
Plantarea pe alei: copacii cresc pe rânduri între care se găsesc alei utilizate pentru diferite culturi.	Cultură multiplă: se combină mai multe tipuri de copaci și culturi.

Figura 3: Metode agroforestiere (3)

Cele mai promițătoare sisteme agroforestiere din Europa sunt cele care integrează copacii și culturile arabile sau pășunatul, numite silvo-arabile și, respectiv, silvo-pastorale [19]. Aceste sisteme sunt în concordanță cu obiectivele UE pentru creșterea biodiversității, adaptarea la schimbările climatice și îmbunătățirea rezilienței agricole.

Cu toate acestea, există și provocări care trebuie adresate pentru a pentru ca sistemele agroforestiere să ajungă la potențial maxim în Europa, printre acestea fiind chestiuni ce țin de proprietățile funciare și conștientizarea limitată a avantajelor aduse de aceste tehnologii. Politica agricolă comună a Uniunii Europene după 2020 vizează creșterea susținerii practicilor agroforestiere, stabilind direcția pentru dezvoltarea regională continuă [18].

Sistemele agroforestiere pot avea multiple beneficii din punct de vedere al avantajelor aduse ecosistemelor. Detalii sunt prezentate în Figura 4. În general, portofoliul acestor avantaje este extins fie că este vorba despre biodiversitate, ameliorarea impactului dat de schimbările climatice, siguranța alimentară sau energetică, sau recreere



Figura 4. Trei sisteme agroforestiere și beneficiile acestora, adaptare după Palacios și Bokelmann [20].

În concluzie, culturile intercalate și cele agroforestiere oferă soluții practice și complete pentru creșterea rezilienței la schimbările climatice în sistemele de cultură din Europa. Prin diversificarea culturilor, conservarea biodiversității și favorizând captarea și reținerea carbonului, aceste practici sustenabile se aliniază perfect cu țelurile agriculturii reziliente la schimbările climatice. Cu toate acestea, pentru a beneficia de toate aceste avantaje, sunt necesare eforturi concentrate, politici de susținere, asistență tehnică și abordări adaptate implementării sistemelor intercalate și agroforestiere în condițiile agriculturii europene.

Bibliografie

1. Ofori, F., Stern, W. R. (1987). Cereal-legume intercropping systems. *Advances in Agronomy 41*, 41–90
2. Willey, R. W. & Rao, M. R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture, 16*(2), 117–125.
3. Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., Vlachostergios, D. N. (2011). Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science, 5*(4), 396–410.
4. Mobasser, H., Vazirimehr, M. Rigi, K. (2014). Effect of intercropping on resources use, weed management and forage quality. *International Journal of Plant Animal and Environmental Sciences, 4*(2), 706–713.
5. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature, 418*(6898), 671–677.
6. Kremen, C., Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. Ecology and Society, 17(4), 40.
7. Burgess, J. A., Cano, M. E. C. & Parkes, B. (2022). The deployment of intercropping and agroforestry as adaptation to climate change. *Crop and Environment, 1*(2), 145–160.
8. Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., Jensen, E. S. (2008). Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems, 23*(1), 3–12.
9. Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J. B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S. K., Lalichetti, S., Sairam, M. (2021). Intercropping—a low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy, 11*(2), 343.
10. Abbas, F., Hammad, H. M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, E., Bakhat, H. F. (2017). Agroforestry: a sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 11177-11191.
11. Puri, S., Nair, P. K. R. (2004). Advances in agroforestry. Agroforestry Systems, 61-62(1), 437-452.
12. Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems, 76*(1), 1–10.
13. Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H. N., Borek, R., Crous-Duran, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Graves, A., Jäger, M., Lamersdorf, N., Memedemin, D., Mosquera-Losada, R., Pantera, A., Paracchini, M. L., Paris, P., Roces-Díaz, J. V., Rolo, V., Rosati, A., Sandor, M., Smith, J., Szerencsits, E., Varga, A., Viaud, V., Wawer, R., Burgess, P. J., Herzog, F. (2019). Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe, Land Use Policy, 83, 581–593.
14. Kumar, B. M. & Nair, P. K. R. (2004). The enigma of tropical homegardens. In Nair, P. K. R., Rao, M. R., Buck, L. E. (Eds.), New vistas in agroforestry. Advances in Agroforestry, vol 1. Springer, Dordrecht.
15. Jonsson, M., Bengtsson, J., Gamfeldt, L., Moen, J., Snäll, T. (2019). Levels of forest ecosystem services depend on specific mixtures of commercial tree species. Nature Plants, 5(2), 141–147.
16. Lasco, R. D., Delfino, R. J. P. & Espaldon, M. L. O. (2014). Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. *WIREs Climate Change, 5*(6), 825–833.
17. Kiptot, E. & Franzel, S. (2012). Gender and agroforestry in Africa: a review of women's participation. *Agroforestry Systems, 84*, 35–58.

18. den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R. M., Palma, J. H. N., Sidiropoulou, A., Santiago Freijanes, J. J., Crous-Duran, J., Paulo, J. A., Tomé, M., Pantera, A., Papanastasis, V. P., Mantzanas, K., Pachana, P., Papadopoulos, A., Plieninger, T., Burgess, P. J. (2017). Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 241, 121–132.

19. Pantera, A., Burgess, P. J., Mosquera Losada, R., Moreno, G., López-Díaz, M. L., Corroyer, N., McAdam, J., Rosati, A., Papadopoulos, A. M., Graves, A., Riquiero Rodríguez, A., Ferreiro-Domínguez, N., Fernándéz Lorenzo, J. L., González-Hernández, M. P., Papanastasis, V. P., Mantzanas, K., Van Lerberghe, P., Malignier, N. (2018). Agroforestry for high value tree systems in Europe. *Agroforestry Systems, 92*, 944–959.

20. Palacios Bucheli, V. J., Bokelmann, W. (2017). *Agroforestry systems for biodiversity and ecosystem services: the case of the Sibundoy valley in the Colombian province of Putumayo*. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 13*(1), 380–397.

21. Ajayi, O. C. & Place, F. (2012). Policy support for large-scale adoption of agroforestry practices: experience from Africa and Asia. In Nair, P. K. R., Garrity, D. (Eds.), *Agroforestry - the future of global land use*. Advances in Agroforestry, vol 9. Springer, Dordrecht

Serviciile ecosistemice în cadrul sistemelor de culturi reziliente la schimbările climatice

Serviciile ecosistemice și sistemele de culturi reziliente la schimbările climatice sunt strâns legate între ele. Serviciile ecosistemice joacă un rol crucial în asigurarea rezilienței sistemelor de culturi la schimbările climatice. Avantajele pe care serviciile ecosistemice le oferă oamenilor includ furnizarea de servicii precum alimente și apă, servicii de reglementare precum controlul climatic și controlul bolilor, și servicii culturale precum recreere și valori estetice [1].

Sistemele de culturi reziliente la climă sunt acele sisteme proiectate pentru a fi mai rezistente la impactul schimbărilor climatice, cum ar fi seceta, inundațiile și evenimentele meteorologice extreme. Acestea includ practici care, printre alte beneficii, îmbunătățesc sănătatea solului, reduc eroziunea acestuia, economisesc apă și îmbunătățesc ciclurile de nutrienți în general. Serviciile ecosistemice furnizează baza pentru sistemele de culturi reziliente la climă prin furnizarea resurselor și funcțiilor necesare pentru a susține producția agricolă globală. De exemplu, solul sănătos oferă baza pentru creșterea culturilor, iar apa curată este esențială pentru irigații. De asemenea, biodiversitatea joacă un rol cheie printre altele în polenizare și controlul dăunătorilor. Prin urmare, promovarea și menținerea serviciilor ecosistemice este esențială pentru dezvoltarea sistemelor de culturi reziliente la climă. Acest lucru poate fi realizat prin practici precum agricultura de conservare, culturile agroforesterie sau managementul integrat al dăunătorilor, care sunt proiectate pentru a îmbunătăți serviciile ecosistemice în timp ce cresc productivitatea culturilor și reduc impactul mediului agricol.

Categoriile serviciilor ecosistemice

Ecosistemele din întreaga lume furnizează servicii cheie care permit practic societății umane să funcționeze. Pentru acestea se utilizează termenul de servicii ecosistemice. Acestea pot fi împărțite în mai multe categorii. Ele sunt împărțite în patru categorii de bază: (1) Servicii de furnizare, (2) Servicii de reglementare și (3) Servicii culturale și sociale. Aceste servicii sunt utilizate direct de către oameni, dar toate tipurile de procese naturale sunt necesare pentru ca acestea să existe, acestea reprezentând așa-numitele (4) Servicii de suport [2].

Serviciile de furnizare (producție) acoperă toate bunurile și serviciile produse de ecosisteme care pot fi folosite pentru consumul material al unei societăți globale. Acestea includ producția de plante care furnizează hrană, fibre, combustibil și alte bunuri, producția de apă potabilă, etc. **Serviciile de reglementare** au de a face cu procesele naturale cheie, cum ar fi ciclul apei, sau asigură reglementarea gazelor cu efect de seră și a schimbărilor climatice conexe. Serviciile de reglementare creează în mare parte un cadru de condiții de mediu în care funcționează societatea noastră, a căror importanță este de obicei realizată doar atunci când există o deviere în funcționarea lor lină. O astfel de deviere poate fi o inundație, secetă, furtună de praf sau schimbări climatice. De asemenea, aceste servicii nu sunt de obicei supuse pieței, ci devin supuse reglementărilor care decurg din legi și alte reglementări. **Serviciile culturale și sociale** sunt suma a ceea ce înseamnă natura pentru psihicul nostru, cultură, inspirație artistică și spirituală, etc. Deși aceste servicii aduc o contribuție semnificativă la economia multor sectoare de activitate umană, cum ar fi turismul și divertismentul, literatura și artele, ele nu sunt în general supuse pieței. Cu toate acestea, de exemplu, locurile turistice atrăgătoare, sau locurile cu biodiversitate bogată în general, pot fi supuse pieței și pot genera profituri. **Serviciile de suport**, cum ar fi producția primară, polenizarea, ciclul de nutrienți, etc., nu sunt, cu excepția unor servicii, direct supuse pieței. Aceasta face foarte dificilă evaluarea lor. Utilizarea naturii și a resurselor naturale duce adesea la o reducere a capacității ecosistemelor de a furniza servicii ecosistemice. Pe măsură ce populația crește și oportunitățile cresc, crește și volumul de producție sau frecvența transportului. În general, influența umană asupra funcționării ecosistemelor și proceselor geo-chimice este în creștere. Biomele mediteraneene și temperate sunt cele mai afectate, adică zonele care au fost leagănul civilizațiilor avansate. Deoarece serviciile de producție ale ecosistemelor sunt cel mai strâns legate de

bunăstarea societății - adică supuse pieței - ecosistemele implicate sunt adesea modificate pentru a-și crește capacitatea de producție. Acest lucru se întâmplă adesea în detrimentul altor procese naturale și servicii ecosistemice [2].

Agricultura și serviciile ecosistemice de bază

Marea parte a peisajului a fost modificată de activitatea agricolă, iar cele mai multe ecosisteme naturale se află în matricea solurilor agricole. Conversia ecosistemelor naturale în sisteme agricole, adică agroecosisteme, poate avea un impact puternic asupra capacității sistemului de a furniza servicii de ecosistem importante. Cu toate acestea, agroecosistemele pot fi, de asemenea, surse importante de servicii de ecosistem. Tradițional, agroecosistemele au fost considerate în principal ca surse de servicii de furnizare, iar abordarea agriculturii a depins de acest lucru. Cu toate acestea, alte tipuri de servicii de ecosistem au fost luate în considerare în ultimele decenii. De fapt, agroecosistemele furnizează și servicii de suport, cum ar fi polenizarea, controlul dăunătorilor, sprijinul pentru diversitatea genetică pentru utilizarea agricolă viitoare, retenția apei în peisaj, protecția împotriva eroziunii solului și sprijinul ciclurilor de nutrienți. Cu toate acestea, dacă un anumit sistem agricol furnizează și susține astfel de servicii, acestea depind de managementul sistemului. În plus față de serviciile de furnizare și reglementare, agroecosistemele pot furniza și diverse servicii de reglementare și culturale pentru oameni. Serviciile de reglementare din agricultură pot include controlul amenințării la inundații, controlul calității apei, sechestrarea carbonului și controlul climatic prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, controlul bolilor și furnizarea proceselor de descompunere. Serviciile culturale legate de agroecosisteme pot include aspectul peisajului, educația, recreerea, turismul sau aspectele religioase [3]. Păstrarea biodiversității poate fi, de asemenea, considerată un serviciu cultural de ecosistem influențat de agricultură, deoarece majoritatea culturilor recunosc aprecierea naturii ca valoare umană explicită. Pe de altă parte, biodiversitatea poate contribui la o serie de servicii de suport pentru agroecosisteme și ecosistemele înconjurătoare [1].

Controlul biologic al dăunătorilor, care este un serviciu de suport [4], este unul dintre beneficiile esențiale ale ecosistemelor pentru agricultură. În cadrul agroecosistemelor, acesta este un serviciu de ecosistem important. Ecosistemele naturale îl susțin adesea. Habitaturile neadministrate oferă spații și resurse alimentare diverse pentru dușmanii naturali ai dăunătorilor agricoli (așa-numiții antagoniști), care la rândul lor furnizează servicii biologice de reglementare în agroecosisteme [5]. Astfel de controale biologice pot reduce presiunea asupra populațiilor de insecte dăunătoare, reducând în cele din urmă necesitatea pesticidelor și a producției și distribuției acestora. De exemplu, serviciile de ecosistem furnizate de antagoniștii dăunătorilor pot înlocui direct insecticidele. Valoarea unui astfel de serviciu de ecosistem poate fi astfel cuantificată și exprimată economic [6].

Unul dintre cele mai importante servicii de ecosistem pentru agricultură este polenizarea. Acest serviciu de ecosistem este inițiat de habitatele naturale din peisajele agricole, adică locurile în care polenizatorii pot locui. Se estimează că aproximativ 65% din speciile de plante ale lumii necesită polenizare de către faună (în principal insecte), iar aproximativ 75% din toate speciile de plante cultivate de importanță globală pentru producția alimentară depind de polenizare [7]. Serviciile de polenizare sunt cuantificabile și, astfel, pot fi și ele exprimate economic, ceea ce nu este cazul pentru majoritatea celorlalte servicii de ecosistem. Valoarea serviciului de polenizare poate fi exprimată, de exemplu, prin valoarea totală a culturilor polenizate de insecte. Cu toate acestea, cele mai multe culturi depind doar parțial de polenizarea de către animale. Prin urmare, ar trebui să se ia în considerare și raportul de dependență sau rata de reducere proporțională a producției în absența polenizatorilor. O astfel de abordare poate oferi o evaluare mai precisă [8]. Cu toate acestea, astfel de cuantificări sunt destul de imprecise și sunt destinate să ofere doar o evaluare generală a beneficiilor economice potențiale, care servește, printre altele, pentru a susține importanța unui serviciu de ecosistem. Mai

mult, cele mai multe estimări nu iau în considerare schimbările potențiale în valoarea fiecărui bun pe măsură ce cererea crește datorită reducerii producției agricole [3]. Agricultura este foarte vulnerabilă la pierderea sau degradarea potențială a serviciului de ecosistem al polenizării. Un factor care poate amplifica această pierdere sau degradare este reprezentată de schimbările climatice și consecințele acestora [1]. Vulnerabilitatea în sine constă în principal în pierderea potențială a serviciilor de polenizare bazată pe raportul dintre valoarea economică a polenizării realizată de insecte și valoarea economică a culturii. Astfel, pierderea serviciilor de polenizare pentru aceste culturi ar putea avea efecte devastatoare asupra economiilor regionale ale țărilor din Africa de Vest pe termen scurt și ar putea duce la o restructurare semnificativă a prețurilor mondiale pe termen lung [3].

Agricultura este cel mai mare consumator global de apă (aproximativ 70%). Furnizarea unor cantități suficiente de apă curată reprezintă un serviciu de ecosistem de bază oferit agroecosistemelor [1]. Valoarea serviciilor de ecosistem asociate disponibilității și calității apei pentru agricultură este reflectată doar parțial în majoritatea estimărilor. Vegetația ecosistemelor naturale, cum ar fi pădurile, poate influența în mod semnificativ acumularea, infiltrarea și retenția apei în peisaj. Comunitățile vegetale joacă în general un rol dominant în reglarea cilului apei și protejarea solurilor de eroziune. Solurile forestiere tind să aibă rate de infiltrare mai mari decât alte soluri și tind să reducă fluxurile de vârf și inundațiile în timp ce mențin fluxurile de bază [9]. În plus, vegetația cu rădăcini adânci, inclusiv arborii, poate îmbunătăți atât disponibilitatea apei, cât și a nutrienților pentru alte specii din ecosistem. Acest principiu este utilizat, de exemplu, în sistemele agroforestiere, fiind unul dintre instrumentele pentru sistemele de cultură reziliente la climă. Disponibilitatea apei în agroecosisteme depinde și de serviciul de ecosistem, care constă în capacitatea de a reține umiditatea solului. Apa de suprafață și subterană (denumită în mod obișnuit apă albastră) intră adesea în agroecosisteme prin intermediul sistemelor de irigații, iar în unele părți ale lumii, această rută este indispensabilă. Cu toate acestea, aproximativ 80% din consumul de apă în agricultură provine din precipitații, stocate în umiditatea solului și vegetație. Această apă este denumită apă verde [10]. În plus față de acoperirea vegetală, materia organică (cantitatea și calitatea sa) și comunitățile biotice ale solului influențează în mod semnificativ cantitatea și calitatea apei din sol și, astfel, furnizează alte servicii de ecosistem de bază agriculturii. În această relație, predicțiile privind disponibilitatea apei pentru agricultură se bazează în principal pe presupuneri privind disponibilitatea apei albastre (adică apei de suprafață și subterane), dar adesea ignoră contribuția apei verzi (adică apei de ploaie din sol și vegetație). Astfel, predicțiile finale privind disponibilitatea apei, de exemplu, în 2050, ar putea să nu fie atât de pesimiste. Cu toate acestea, schimbările climatice aduc o creștere a variabilității precipitațiilor. Se prevede că acest lucru va duce la un risc mai mare de secetă sau inundații. Temperaturile mai ridicate asociate schimbărilor climatice vor duce și ele la creșterea cererii totale de apă [11]. În prezent, practicile de gestionare a apei (legate de apa verde) sunt deja cunoscute în ferme, ceea ce poate schimba semnificativ aceste predicții privind lipsa de apă. De exemplu, prin trecerea la tehnologii de conservare pentru tratamentul solului (adică tratamentul fără lucrări de arătură) sau împrăștierea de paie, evaporarea apei din sol poate fi redusă cu 35-50%. De asemenea, reținerea apei de ploaie în ferme în rezervoare și iazuri de suprafață sau în rezervoare subterane este o modalitate foarte eficientă care poate permite fermierilor să recupereze până la 50% din apa care este în mod normal pierdută în sistem [3].

Serviciile ecosistemice de bază disponibile și pentru agroecosisteme sunt structura solului și fertilitatea acestuia. Solurile bine aerate, cu suficientă materie organică, reprezintă baza pentru distribuția nutrienților către culturi și retenția apei în sol. Structura porilor solului (porozitatea solului), agregarea solului și descompunerea materiei organice sunt influențate de activitatea bacteriilor, fungilor și macrofaunei (nevertebrate precum râmele). Microorganismele mediază disponibilitatea nutrienților prin descompunerea detritusului (adică materialul provenit din descompunerea naturală a rocilor), a

reziduurilor vegetale (adică materie organică primară) și, unde este cazul, fixarea azotului din aer [12] și [13].

Practicile agricole care degradează structura solului și comunitățile microbiene ale solului includ aratul tradițional, dar și frecventele discuiri sau procesele de recoltare care sunt asociate cu o compactare puternică a solului (pedocompactare). Cu toate acestea, pot fi aplicate practici agricole pentru a proteja solul și a reduce riscul de eroziune și scurgere a apei. Procesarea/cultivarea redusă a solului (de exemplu, tehnologiile fără arătură) și alte măsuri de protecție a solului, cum ar fi implementarea îngrășămintelor verzi sau intercalarea (ca culturi de acoperire), aplicarea composturilor și rotația adecvată a culturilor în cadrul procesului de cultivare, pot conserva fertilitatea solului prin contribuția la o bună structură a solului, minimizarea pierderilor de nutrienți și menținerea lor disponibile pentru culturi. De exemplu, culturile de acoperire facilitează reținerea solului și a nutrienților între culturile individuale în cadrul rotației culturilor [14]. Rotația culturilor afectează, de asemenea, diversitatea peisajelor agricole în spațiu și timp. Mai mult, peisajul și structura acestuia, respectiv structura spațială și temporală a peisajului, au un impact major asupra nivelului de furnizare a serviciilor ecosistemice și asupra volumului acestora pentru agroecosistem [15]. De asemenea, încorporarea reziduurilor post-recoltare poate contribui la creșterea conținutului de materie organică a solului. Acest lucru ajută în final la reținerea apei și la furnizarea de nutrienți către culturi. Toate aceste procese protejează multe servicii ecosistemice legate de structura solului și, în special, de fertilitatea acestuia [13].

Agricultura și impactul negativ asupra serviciilor ecosistemice

Ecosistemele agricole oferă oamenilor materiile prime de bază necesare pentru bunăstarea umană. Valoarea serviciilor ecosistemice legate de agricultură este enormă și adesea subestimată. De asemenea, agricultura poate furniza așa-numitele servicii negative, cum ar fi pierderea habitatelor, levigarea nutrienților asociată cu eroziunea, emisiile de gaze cu efect de seră și încărcăturile poluante cu pesticide, etc. Agricultura în sine exercită o presiune semnificativă asupra serviciilor ecosistemice [4]. În multe ecosisteme antropice, de obicei cele pe terenuri arabile, o cantitate mare de nutrienți este furnizată în fiecare an de către oameni (ceea ce poate fi văzut ca o compensație pentru biomasa recoltată). Acești nutrienți sunt apoi eliminați prin recoltare, o mare parte fiind, de asemenea, pierdută prin levigare, scurgere și alte procese. Dacă desfășurăm un tip similar de agricultură pe mai multe suprafețe, impactul se resimte la nivelul întregului peisaj. În cazul nutrienților în agricultură, aceasta duce la creșterea cantității de nutrienți în resursele de apă. Acest lucru poate duce, de exemplu, la eutrofizare sau ecotoxicitate. De exemplu, dintr-o perspectivă globală, aplicarea îngrășămintelor minerale a dublat aportul de azot din atmosferă în ecosisteme [1]. Astfel, creșterea producției (adică intensificarea agriculturii) datorită aporturilor de nutrienți poate duce, de exemplu, la reducerea serviciilor ecosistemice, cum ar fi furnizarea apei potabile. Intensificarea agriculturii crește consumul total de substanțe agrochimice folosite. Toate acestea au implicații pentru fluxurile globale de energie și substanțe în natură. Intensificarea agriculturii poate amenința sau degrada multe servicii ecosistemice furnizate de peisajul înconjurător și biodiversitatea acestuia. În multe regiuni ale lumii, intensificarea agriculturii a dus la simplificarea structurii peisajului prin extinderea terenurilor agricole, mărirea dimensiunii câmpurilor, reducerea vegetației de la marginile câmpurilor și eliminarea mediului natural [12]. Simplificarea structurii peisajului contribuie la creșterea presiunii dăunătorilor prin posibilitățile oferite de monoculturi și suprafața acestora. În schimb, aceasta duce la reducerea populațiilor dușmanilor lor naturali.

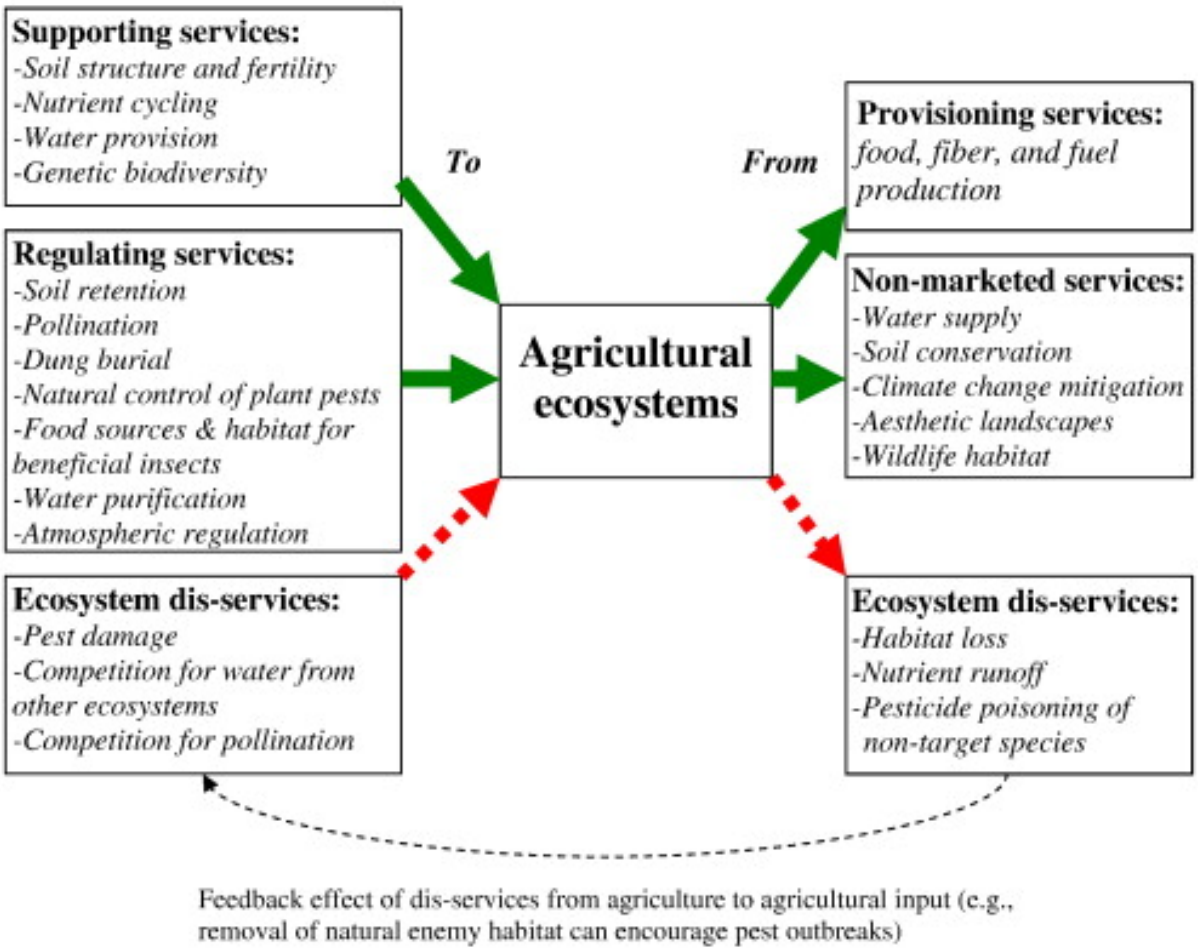


Figura 1 Servicii și deservicii ecosistemice către și dinspre agricultură. Săgețile pline indică serviciile, în timp ce săgețile punctate indică deserviciile (din [4]).

Sprijin pentru serviciile ecosistemice ale fermelor și managementul adecvat

În întreaga lume, agroecosistemele prezintă diferențe enorme în ceea ce privește structura și funcția lor. Acestea au fost concepute de diferite culturi în condiții socio-economice variate și în diferite regiuni climatice. Agroecosistemele funcționale includ, de exemplu, monoculturi anuale, livezi permanente, sisteme de pășunat, sisteme pastorale pe soluri uscate, sisteme de rotație tropicale, sisteme de cultivare mixtă la scară mică, orezării, plantații tropicale (de exemplu, palmier de ulei, cafea, cacao), sisteme agroforestiere sau grădini de casă bogate în specii. Această diversitate a sistemelor de agricultură rezultă într-o gamă extrem de variată de servicii ecosistemice. La fel cum serviciile și produsele provenite din aceste agroecosisteme variază, la fel variază și serviciile de suport, de reglementare și culturale, rezultând în diferențe extreme în valoarea acestor servicii atât în interiorul, cât și în afara agroecosistemului [3]. În timp ce agricultura maximizează valoarea serviciilor de aprovizionare, adesea reduce serviciile ecologice furnizate de ecosistemele terestre. Cu toate acestea, managementul adecvat al proceselor cheie poate îmbunătăți capacitatea agroecosistemelor de a furniza o gamă largă de servicii ecosistemice [15].

Managementul adecvat în ferme poate îmbunătăți semnificativ volumul și calitatea generală a serviciilor ecosistemice furnizate de agricultură [16]. Fermierii susțin în mod obișnuit serviciile de aprovizionare prin inputuri și practici pentru a crește randamentele. Dar managementul adecvat poate îmbunătăți și serviciile ecosistemice, cum ar fi polenizarea, controlul biologic al dăunătorilor, fertilitatea și structura solului, reglarea apei, promovarea biodiversității, etc. [3]. De exemplu,

managementul habitatelor marginale (de exemplu versanții dealurilor, verdeața răspândită în peisaj sau marginile terenurilor) din cadrul unui agroecosistem poate furniza resursele necesare pentru polenizatori sau dușmanii naturali ai dăunătorilor culturilor. Este recomandabil să includem în practicile agricole plante perene pentru a promova biodiversitatea în general și, în special, pentru a promova polenizatorii și antagoniștii. Sprijinul pentru diversitatea culturilor poate fi realizat prin policulturi, culturi de acoperire sau agroforestiere [17]. Practici similare pot fi benefice pentru polenizatorii sălbatici și pot reduce inputurile agrochimice (adică pesticidele) sau necesitatea aratului. În același timp, aceste practici contribuie la promovarea sechestrării carbonului — un serviciu ecosistemic major în relație cu creșterea cantității de CO_2 în atmosferă. Sechestrarea carbonului în sol oferă și servicii ecosistemice suplimentare prin menținerea structurii și fertilității solului, îmbunătățirea calității solului, creșterea eficienței inputurilor agronomice și îmbunătățirea calității apei prin filtrarea și denaturarea poluanților. În special, măsurile de protecție a solului, cum ar fi conservarea solului (inclusiv practicile de minimalizare), pot salva carbonul din sol. Stocarea carbonului este de asemenea favorizată de rotația culturilor menționată și de sortarea culturilor de acoperire, care reduc riscul de eroziune și contribuie la menținerea carbonului organic în sol. Managementul eficient al gunoiului de grajd poate, de asemenea, reduce semnificativ emisiile asociate deșeurilor animale. Înlocuirea îngrășămintelor sintetice de azot cu plante leguminoase, care folosesc fixarea biologică a azotului, contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, ceea ce contribuie, la rândul său, la promovarea efectului de seră [3].

Vor fi necesare sisteme agricole reziliente în fața schimbărilor climatice [18]. Managementul durabil al agroecosistemelor sau intensificarea durabilă prin managementul proceselor ecosistemice are potențialul de a crește producția de alimente, reducând în același timp unele dintre impacturile negative ale intensificării asupra biodiversității și serviciilor ecosistemice conexe. Practicile adecvate de management agricol, adică căile precum sistemele de culturi rezistente la climă, sunt esențiale pentru realizarea beneficiilor serviciilor ecosistemice și pentru reducerea impacturilor negative ale agriculturii [3].

Bibliografie

1. MA Board. (2005). Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
2. Frouz, J., Frouzová, J. (2021). Aplikovaná ekologie (Vol. 3). Charles University in Prague, Karolinum Press.
3. Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences, 365(1554), 2959-2971.
4. Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological economics, 64(2), 253-260.
5. Fiedler, A. K., Landis, D. A., & Wratten, S. D. (2008). Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management. Biological control, 45(2), 254-271.
6. Cheng, X., Van Damme, S., Li, L., Uyttenhove, P. (2019). Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. Ecosystem services, 37, 100925.
7. Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the royal society B: biological sciences, 274(1608), 303-313.
8. Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A. M., Regetz, J., Ricketts, T. H. (2007). Pollination and

other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. Ecology letters, 10(4), 299-314.
9. Maes, W. H., Heuvelmans, G., Muys, B. (2009). Assessment of land use impact on water-related ecosystem services capturing the integrated terrestrial− aquatic system. Environmental Science & Technology, 43(19), 7324-7330.
10. Rost, S., Gerten, D., Bondeau, A., Lucht, W., Rohwer, J., Schaphoff, S. (2008). Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. Water Resources Research, 44(9).
11. IPCC (2007). Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
12. Sarapatka, B., Abrahamova, M., Cizkova, S., Dotlacil, L., Hluchy, M., Kren, J., Kuras, T., Lastuvka, Z., Lososova, Z., Pokorny, E., Pokorny, J., Pokorny, R., Salasova, A., Tkadlec, E., Tuf, I., Vacha, M., Zamecnik, V., Zeidler, M., Zalud, Z. (2010). Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut.
13. Sarapatka, B., Urban, J., Cizkova, S., Hejduk, S., Hradil, R., Jurcik, J., Leibl, M., Matlova, V., Moudry, J., Plisek, B., Pokorny, E., Rozsypal, R., Sedlo, J., Skerik, J., Sonkova, R., Travnicek, P., Vanek, D., Pinschof, Anton (2009). Organic agriculture. IAEI.
14. Bernas, J., Konvalina, P., Brom, J., Moudrý, J., Veselá, T., Bucur, D., Dirja, M., Shim, S. (2020). Agrotechnology as key factor in effective use of water on arable land. Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic, 275-312.
15. Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. Environmental Development, 34, 100527.
16. Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., Hamilton, S. K. (2007). Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. Ecological economics, 64(2), 245-252.
17. Kay, S., Graves, A., Palma, J. H., Moreno, G., Roces-Díaz, J. V., Aviron, S., Chouvardas, D., Crous-Duran, J., Ferreiro-Domínguez, N., de Jalón, S. G., Măcicăşan, V., Mosquera-Losada, M. R., Pantera, A., Santiago-Freijanes, J. J., Szerencsits, E., Torralba, M., Burgess, P. J., Herzog, F. (2019). Agroforestry is paying off–Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. Ecosystem services, 36, 100896
18. Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morisette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. Science of the Total Environment, 733, 137782.
19. Wood, S. A., Karp, D. S., DeClerck, F., Kremen, C., Naeem, S., & Palm, C. A. (2015). Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. Trends in ecology & evolution, 30(9), 531-539.

2. Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea terenurilor și a îngrășămintelor și măsuri de protecție împotriva schimbărilor climatice

Erdinç UYSAL

Cuprins

- Efectele schimbărilor climatice asupra proprietăților solului,
- Bugetul de carbon al solurilor agricole și importanța creșterii stocării carbonului,
- Efectele utilizării terenurilor asupra stocurilor de carbon din sol,
- Efectul proprietăților solului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră din solurile,
- Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea îngrășămintelor,
- Efectele aplicării varului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră din solurile agricole,
- Facilitarea sustenabilității fertilizării prin perspectiva schimbărilor climatice,
- Combaterea defrișării, deșertificării și eroziunii.

Introducere

O parte semnificativă a gazelor cu efect de seră care provoacă încălzirea globală este eliberată în atmosferă ca rezultat al activităților agricole. Emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură constau în mare parte din oxidul de azot (N_2O) și gaz metan (CH_4). Deși aceste gaze sunt mai puțin abundente în atmosferă decât CO_2, au un potențial mai mare de încălzire globală. Emisiile rezultate din utilizarea îngrășămintelor au o pondere semnificativă în emisiile din agricultură. Emisiile legate de îngrășăminte se manifestă în principal prin emisiile de N_2O rezultate din aplicarea îngrășămintelor azotoase. În ultimii ani, creșterea cantității de emisii cauzate de utilizarea îngrășămintelor sintetice a crescut mult mai rapid în comparație cu cele cauzate de alți factori din domeniul agricol. În plus, gunoiul animal are o pondere semnificativă în emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură. Modul de utilizare a terenurilor are o mare importanță în retenția carbonului în sol. Pajiștile și pădurile reține în general cantități mai mari de carbon decât terenurile agricole arabile. În funcție de schimbările destinațiilor terenurilor, pot apărea diferențe mari în balanța de carbon a solului. Atunci când suprafețele forestiere, pajiștile sau alte ecosisteme naturale sunt transformate în zone agricole arabile, se observă scăderi ale carbonului organic din sol. Solul se formează în natură după un proces foarte îndelungat. Presiunea asupra solului, care este baza vieții pe pământ, crește zi de zi. Solul este cel mai mare rezervor de carbon după oceane și este un element important de echilibru împotriva schimbărilor climatice. Carbonul este stocat în cantități mai mari în sol decât în plantele de pe uscat. Prin urmare, chiar și schimbările mici în masa carbonului organic din sol pot avea efecte profunde asupra concentrației atmosferice de CO_2 și, astfel, asupra climei. Există o interacțiune constantă și reciprocă între schimbările climatice și sol. Dacă solul nu este gestionat corect, vor crește emisiile de gaze cu efect de seră și capacitățile de stocare a carbonului vor scădea. Protejarea zonelor agricole existente și să prevenirea schimbării zonelor naturale în zone agricole sunt esențiale, în contextul creșterii globale a cererii și diversității alimentelor. În plus față de creșterea productivității în zonele agricole, luarea de măsuri pentru a minimiza pierderile de carbon organic din sol este o responsabilitate importantă pentru a minimiza efectele schimbărilor climatice.



Efectele schimbărilor climatice asupra proprietăților solului

Solul se formează după un proces îndelungat, sub interacțiunea mai multor factori cum ar fi clima, materialul principal, topografia și organismele. Presiune asupra solului, care este baza vieții pe pământ, crește în fiecare zi. În vederea adoptării unor practici sustenabile în agricultură, managementul solului este esențial.

Solul este cea mai mare sursă de carbon după oceane, fiind un factor important în ameliorarea schimbărilor climatice. Impactul schimbărilor climatice asupra solului este un proces lent și complex. Un management defectuos al solului nu duce doar la degradare acestuia dar poate rezulta și în accentuarea schimbărilor climatice ca sursă de gaze cu efect de seră. Pe măsură ce efectele schimbărilor climatice cresc, este inevitabil ca solul să fie afectat de acestea. În acest capitol sunt examinate efectele posibile ale încălzirii globale asupra unor proprietăți de bază ale solului.

Efectele schimbărilor climatice asupra umidității solului

Existența unei cantități suficiente de apă în sol în timpul dezvoltării plantelor este extrem de importantă pentru creșterea acestora. Este de așteptat ca schimbările climatice să producă modificări ale umidității solului. Evenimente apărute datorită schimbărilor climatice cum ar fi ploi de intense într-o scurtă perioadă de timp, creștere evaporației și transpirației datorită temperaturilor ridicate, pot produce o serie de fluctuații ale apei în sol [1]. Per total, efectul climatului asupra sistemului hidrologic și a sistemului vegetație-sol se reflectă prin balanța apei în câmp și regimul de umiditate a solului. Efectele potențiale a patru scenarii posibile de schimbări climatice asupra componentelor umidității solului sunt rezumate în Figura 1.

P: Precipitații
R: Scurgerea pe suprafață
F: Filtrarea în zona nesaturată
G: Pânza freatică
Gr: Ridicarea pânzei freatice
Gs: Coborârea pânzei freatice
I: Infiltrațiile în sol
I: Infiltrațiile în apa subterană
S: Acumuare în sol
T: Transpirație
E: Evaporare

Factori	Rece, umed	Rece, uscat	Cald, umed	Cald, uscat
P	C	D	C	D
R	C	d, D	C	D
G	c	d	c	D
I	C	d	C	D
i	c	D	c	D
S	C	d	C	D
E	D	E	E	C
T	D	E	c	C
F	-	-	-	-
G_r	c	-	C	-
G_s	-	C	-	C

Figura 1. Componentele balanței apei și regimului de umiditate a solului și impactul celor patru scenarii posibile de schimbări climatice asupra acestora: c și C (creștere moderată la creștere puternică), d și D (descreștere moderată la descreștere puternică), E (nicio modificare).

De exemplu, dacă vegetația nu suferă datorită lipsei de apă impuse de climă sau a secetei indusă de sol, o creștere a temperaturii va duce la creșterea potențialului pentru E și T. Scăderea R, I, S și G are loc dacă temperaturile ridicate sunt însoțite de precipitații scăzute; aceasta atenuează consecințele hidrologice adverse ale înghețului și topirii rapide a zăpezii (pericol de inundații) și oferă mai multe oportunități pentru penetrarea apei. Deoarece reducerea precipitațiilor atmosferice va duce la o scădere a infiltrării apei (I) și stocării apei (S) în sol și plante; scurgerea la suprafață (R) pe terenurile în pantă va crește, astfel, pericolul de eroziune hidrică, pierderile prin filtrare și reîncărcarea a apelor subterane (G) și pierderi prin evaporare [2]. Modificarea cantității de apă din sol este strâns legată de schimbarea regimului precipitațiilor. Studiile actuale prezic posibilitatea înregistrării unei scăderi sau creșteri a cantității de precipitații care cad în diferite părți ale lumii din cauza schimbărilor climatice (Figura 2). Se prognozează că precipitațiile vor crește cu 10% până la 40% până la mijlocul secolului în unele zone de înaltă latitudine și în unele zone tropice dens populate, și vor scădea cu 10% până la 30% în unele regiuni aride de latitudini medii. Se preconizează cu o posibilitate foarte ridicată că multe regiuni semi-aride (de exemplu Bazinul Mediteraneean, vestul Statelor Unite, Africa de Sud și Brazilia de nord-st) vor experimenta o reducere a resurselor de apă din cauza schimbărilor climatice. Creșterea temperaturilor va afecta, de asemenea, caracteristicile lacurilor și râurilor și va avea efecte predominant negative asupra calității apei [3].

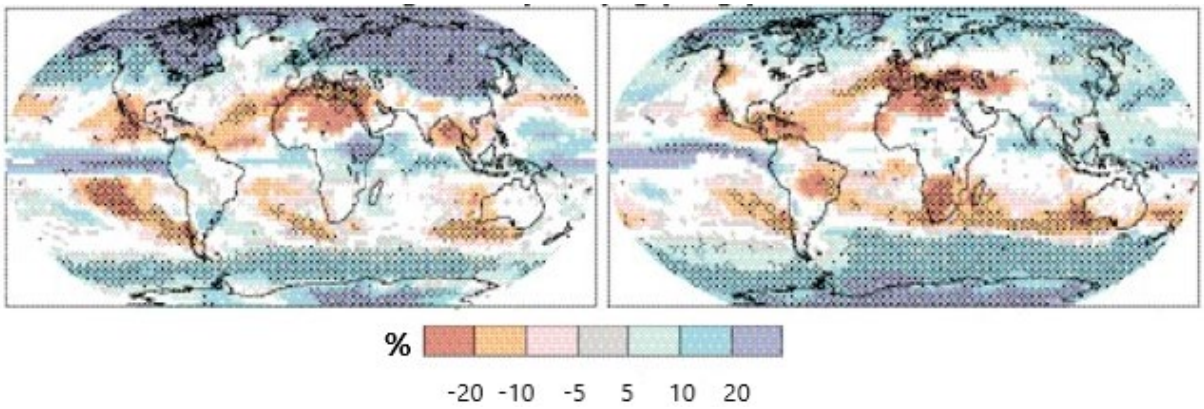


Figura 2. Modificări proporționale ale precipitațiilor (pentru perioada 2090-2099 în comparație cu 1980-1999). Valorile sunt medii multi-model bazate pe scenariul SRES A1B pentru intervalul decembrie-februarie (stânga) și iunie-august (dreapta) [3].

Schimbările climatice și efectele schimbării regimurilor de precizie asupra acidificării solului

pH-ul solului indică alcalinitatea sau aciditatea solului, fiind strâns legat de fertilitatea acestuia. Valoarea pH-ului soluției solului este valoarea pH-ului cel mai strâns legată de procesele biochimice ale solului și plantelor. Odată cu modificările temperaturii și intensității precipitațiilor cauzate de schimbările climatice, este de așteptat să apară schimbări în descompunerea minerală a solului și, în consecință, în reacția solului. Creșterea acidificării solului poate apărea ca rezultat al producerii unei cantități mai mari de biomasă datorită temperaturilor crescute și creșterii presiunii parțiale a CO_2 în aer. Dacă astfel de materiale vegetale se descompun în locul unde cresc, alcalinitatea acumulată în acest material revine în sol, neutralizând aciditatea. În cazurile în care biomasa produsă este recoltată și îndepărtată din câmp, aciditatea nu poate fi neutralizată și rămâne în sol. Pe de altă parte, creșterea presiunii parțiale a CO_2 în aerul este improbabil să afecteze pH-ul solului, deoarece H_2CO_3 este un acid slab [4].

Evans și colaboratorii [5] au utilizat un model dinamic (Modelul de Acidifiere a Apelor Subterane din Bazin) și scenarii climatice de creștere a temperaturii și scădere a precipitațiilor în studiul lor efectuat în Marea Britanie pentru a prezice efectele schimbărilor climatice asupra solului și apei. Aceștia au raportat că niveluri ridicate de carbon organic dizolvat și de aciditate organică datorată temperaturii

crescute sunt de așteptat să ducă la scăderea pH-ul solului și să crească trecerea cationilor bazici în apele de suprafață. Subliniind importanța folosirii varului pentru a controla aciditatea în acest tip de soluri agricole, cercetătorii au declarat că solurile cu conținut ridicat de lut și materie organică sunt mai rezistente la creșterea și scăderea pH-ului, în timp ce solurile nisipoase sunt mai vulnerabile la acidificare. Cum nu este posibil să se schimbe conținutul de argilă din sol, ar fi adecvat să se ia măsuri pentru a crește conținutul de materie organică.

Efectele schimbărilor climatice asupra salinității și alcalinității solului

Salinitatea este o condiție care limitează absorbția apei de către plante, reducând potențialul osmotic. În plus, datorită toxicității ionilor, poate determina deteriorarea echilibrului de nutrienți în plante. Este o caracteristică foarte importantă în ceea ce privește sănătatea solului.

Sunt necesare câteva premise de bază pentru acumularea de sare în soluri. În primul rând, trebuie să existe o sursă de sare. Sărurile pot proveni din diferite surse. Ele pot fi formate ca rezultat al alterării locale prin dizolvarea compușilor solubili ai anumitor roci, minerale și alte sedimente geologice. Apele de suprafață și subterane pot conține sare. În plus, resursele de sare pot proveni din activități umane, cum ar fi irigarea, fertilizarea și utilizarea diverselor deșeuri. Este posibil ca aceste săruri să fie transportate în diferite zone prin intermediul agenților de transport precum apa și vântul, mișcarea soluției în prezența unei forțe crescând eficiența transportului sării. Dacă există un dezechilibru negativ al apei în sol, adică evapotranspirația este mai mare decât precipitațiile și apa de irigare, poate să apară salinizarea solului. Condițiile de drenaj limitate sunt, de asemenea, un factor care facilitează formarea salinității [2].

Compoziția sărurilor prezente în apa din sol poate fi un factor important pentru permeabilitatea acestuia. În solurile sodice, structura solului se deteriorează și permeabilitatea este redusă în mod semnificativ. De asemenea, salinizarea solului este considerată a fi forța motrică a deșertificării [6]. În funcție de schimbările climatice, temperaturile mai ridicate și perioadele periodice de ploaie și secetă vor accelera descompunerea sedimentelor geologice, care sunt materialul principal e producere a sărurilor, și dizolvarea și transportul acestora vor crește. Astfel, va avea loc formarea sărurilor solubile în soluția solului și acumularea lor în timp. În plus, seceta crescută datorată creșterii temperaturilor și cererea excesivă de hrană care va apărea în timp vor cauza o creștere a suprafețelor irigate. Această situație va face ca solurile să fie afectate de săruri datorită practicilor incorecte de irigare și fertilizare, așa cum se întâmplă și astăzi [2].

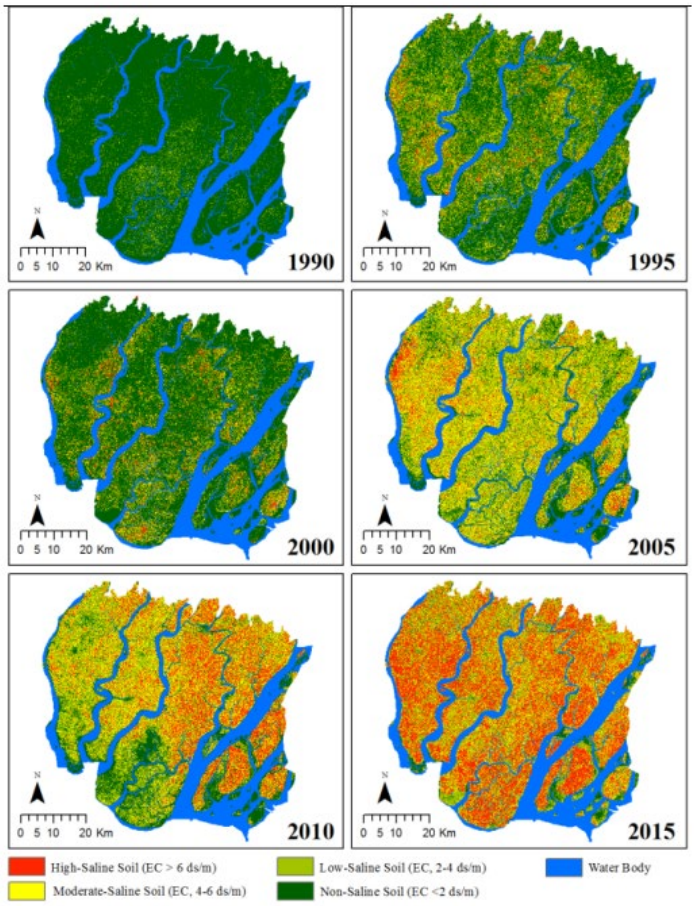


Figura 3. Harta salinității solului determinată în ani diferiți prin teledetecție [8].

Cantități prea mari sau prea mici de precipitații pot afecta semnificativ asupra salinitatea solului în zona rădăcinii. Nivelul apei subterane crește datorită precipitațiilor excesive. Dacă nivelul apei subterane scade sub doi metri, capilaritatea va determina mișcarea apei spre suprafață. Dacă nu este suficientă ploaie pentru ca aceste săruri să se scurgă din zona rădăcinii, depunerile de sare pot fi vizibile la suprafața solului, ceea ce se întâmplă în perioadele secetoase. Similar, în zonele cu secetă, acumularea de sare este posibilă, sărurile fiind antrenate de mișcarea apei prin capilaritate. Un alt exemplu de secetă care cauzează acumularea de sare în zona rădăcinii este intruziunea apei dintr-un acvifer cu apă sărată situat în apropiere din cauza extragerii excesive de apă din unele puțuri. Reducerea resurselor de apă și utilizarea unei cantități mai mare de ape uzate pot duce la o creștere a cantității de sare în zona rădăcinii plantelor. Creșterea nivelurilor oceanice datorată topirii ghețarilor din cauza încălzirii globale poate duce la o intruziune mai mare a apei de mare [7]. În special în cazul intruziunii directe a apei sărate, pot fi observate schimbări mari în valorile de salinitate a solului într-un timp foarte scurt. În Figura 3 sunt prezentate diferențele în modificările concentrației sării din solurile de pe coasta Bangladeshului pe o perioadă de 25 de ani datorate creșterii nivelului mării [8].

Schimbările climatice și structura solului

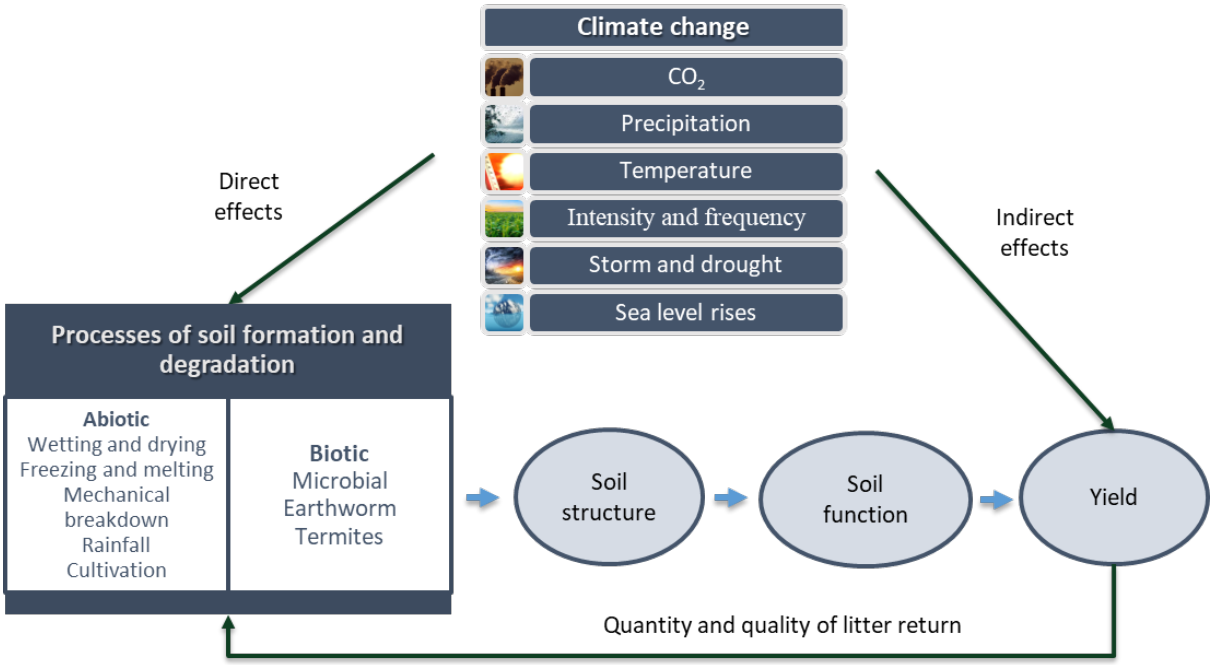


Figura 4. Relațiile de bază între structura solului și producție în perspectiva schimbărilor climatice.

Structura solului este dată de organizarea particulelor din sol și este considerată una dintre proprietățile fizice importante ale solului datorită efectelor sale asupra mișcării apei și a gazelor. Structura solului nu este statică, ci dinamică, putându-se schimba în funcție de proprietățile solului. Textura solului este o proprietate a solului care joacă un rol important în producția agricolă. În același timp, gradul de eroziune al solului este strâns legat de structura solului. În contextul schimbărilor climatice, este inevitabilă influența factorilor de mediu asupra structurii solului. Cu toate acestea, amploarea acestor schimbări poate varia în funcție de magnitudinea schimbărilor climatice și de fragilitatea structurală a solului. Ca rezultat, impactul real va fi specific sitului și tipului de sol.

Figura 4 indică factorii care pot influența structura solului și determina modificări ale producției; odată cu posibilele schimbări în evenimentele climatice, solurile pot să fie uneori expuse la secetă și uneori să se confrunte cu precipitații mai intense. În aceste condiții, solul devine mult mai predispus la deteriorarea structurală. Ca rezultat al schimbărilor climatice, se așteaptă ca structura solului să se deterioreze ca urmare a lucrării solului atunci când este prea umed sau prea uscat [9].

Schimbările climatice vor duce la declanșarea mai frecventă a incendiilor și inundațiilor. Focul reduce adesea stabilitatea agregatelor solului și poate induce creșterea sau distrugerea permeabilității apei în funcție de temperatura atinsă și durată [10].

Efectele schimbărilor climatice asupra faunei pot afecta indirect structura solului. Organismele din sol, în special râmele și termitele, au efecte importante asupra proprietăților fizice ale solului. În absența acestor organisme, pot apărea diferențieri puternice ale profilului datorită amestecării insuficiente a solului [11].

Efectele schimbărilor climatice asupra faunei și florei solului

Fauna și flora solului, reprezentate în număr foarte mare chiar și într-o zonă foarte mică, sunt componente esențiale ale solului, de importanță vitală pentru multe procese care au loc în sol. Solul găzduiește o gamă largă de bacterii, fungi și specii de animale, precum și multe plante. Deoarece

principala funcție a acestor organisme este de a recicla materia organică din sol, ele sunt absolut esențiale pentru funcționarea ecosistemelor terestre.

Se așteaptă ca modificările care vor surveni în habitatul solului din cauza schimbărilor climatice să afecteze și biota solului. În condiții de secetă, se formează mai puțină biomasa microbiană și apare mai puțină activitate microbiană. În plus, seceta extremă poate duce, de asemenea, la moartea unor organisme mai mari ale solului. În cazul în care schimbările climatice cresc susceptibilitatea solului la eroziune, biota solului poate fi afectată din cauza eroziunii [12].

Un studiu efectuat pentru a determina efectele schimbărilor climatice asupra biotei solului a raportat că biomasa microbiană a crescut semnificativ datorită creșterii cantității de CO_2, dar numărul de bacterii a fost afectat negativ de încălzire [13]. În același studiu s-a menționat că biomasa ciupercilor a crescut odată cu creșterea precipitațiilor.

În prezența unei concentrații de CO_2 ridicată are loc o creștere mai intensă a plantelor datorită intensificării fotosintezei, ceea ce duce la o creștere semnificativă a stocării carbonului în sol, modificând puternic activitatea și densitatea biotei solului [14].

Concentrațiile de CO_2 în atmosferă sunt ridicate chiar dacă rata de utilizare a carbonului de către plante crește, situație va limitata cantitatea de apă și substanțe nutritive pe care plantele le pot obține din sol [15]. În acest caz, vor fi avantajate adaptativ plantele care pot coexista cu micorizele pentru a obține mai multă apă și substanțe nutritive în condițiile în care aceste resurse sunt insuficiente.

Efectele schimbărilor climatice asupra mineralizării azotului, nitrificării și denitrificării

Există mai mulți factori care limitează mineralizarea azotului, realizată prin conversia azotului organic în forme de azot anorganice în soluri. În plus față de cantitatea de materie organică din sol, factorii de mediu legați de climă au un efect important asupra mineralizării azotului. Rata de mineralizare, care rămâne foarte scăzută în timpul iernii, când temperatura scade sub 4°C, apare în cantități mari la sfârșitul primăverii și vara [15]. Deoarece secetele de vară intensificate din cauza schimbărilor climatice vor reduce activitatea microorganismelor solului, se așteaptă ca mineralizarea azotului să se reducă [16]. Deoarece doar microorganismele anaerobe pot fi active în solurile cu condiții de precipitații abundente, lipsa de oxigen în astfel de soluri limitează mineralizarea azotului [17].

Procesele de nitrificare și denitrificare în soluri sunt cele mai importante procese în determinarea concentrației de azot anorganic. Conversia amoniacului în ioni de nitrat de către unele microorganisme din sol este definită ca nitrificare. Nitrificarea este o reacție care necesită oxigen. Reducerea nitraților la azot liber (N_2) poate avea loc după diferite procese. La sfârșitul acestora, pot exista pierderi semnificative de azot din soluri către atmosferă. Denitrificarea este un proces care are loc în prezența organismelor anaerobe, iar aerarea deficitară în soluri produce condiții favorabile în acest sens. Intensificarea mineralizării și denitrificării datorate creșterii temperaturii ca rezultat al schimbărilor climatice poate duce la intensificarea emisiilor de N_2O din sol în atmosferă [18]. Se așteaptă intensificarea denitrificării și creșterea fluxului de N_2O din sol ca urmare a creșterii cantității și frecvenței precipitațiilor în unele regiuni [19].

Schimbările climatice și materia organică din sol

Materia organică a solului, care reglează proprietățile fizice, chimice și biologice ale solului, reprezintă principala sursă de energie a solului și este unul dintre cele mai importante elemente necesare pentru menținerea fertilității solului. Carbonul organic din sol se referă la carbonul format în materia organică fiind componenta principală a acesteia.

Nivelurile dioxidului de carbon din atmosferă au crescut cu aproape 50% de la începutul Revoluției Industriale. Se raportează că la niveluri ridicate de CO_2 și mai ales în prezența apei și azotului din sol,

la plantele C3 fotosinteza este intensificată, acestea producând mai multă biomasă [20]. Cu toate acestea, plantele C4 răspund rar la concentrații ridicate de CO_2, chiar și în prezența unui conținut ridicat de azot [21].

S-a sugerat că azotul suplimentar furnizat prin acumularea de azot atmosferic poate promova creșterea plantelor. Aportul suplimentar de azot poate nu numai să intensifice efectul concentrațiilor ridicate de CO_2 asupra carbonului organic din sol, ci și să încetinească rata de degradare a materiei organice în unele ecosisteme [20].

În general, prezența apei în soluri împreună cu creșterea precipitațiilor, în special în zonele cu resurse reduse de apă, contribuie semnificativ mai mult decât temperatura la acumularea carbonului organic în sol [21]. Într-un studiu privind schimbările climatice în care dioxidul de carbon, umiditatea solului și temperatura au fost folosite ca factori, s-a raportat că umiditatea solului a avut un efect mai important asupra cantității de carbon organic acumulată în sol decât concentrația ridicată de CO_2 și temperatura [22].

Nu există multe studii care să examineze schimbările în resursele de carbon organic al solului cauzate de schimbările climatice. Într-un studiu desfășurat pe o perioadă de 25 de ani în Anglia și Țara Galilor, s-a raportat că pierderea anuală de carbon organic din sol a fost de 0,6%, acest lucru fiind corelat cu schimbările climatice [23]. În plus, într-un alt studiu realizat în Regatul Unit, s-au făcut măsurători pe o perioadă de peste 100 de ani și s-a constatat că nu au existat schimbări semnificative în resursele de carbon din sol [24].

Bibliografie

1. Karmakar R., Das I., Dutta D., Rakshit A., (2016). Potential Effects of Climate Change on Soil Properties: A Review. Sci. Int., 4 (2): 51-73, 2016.
2. Varallyay, G., (2010). The impact of climate change on soils and on their water management. Agron. Res., 8: 385-396.
3. IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
4. Rengel Z. (2011), 'Soil pH, soil health and climate change', in B. P. Singh, A. L. Cowie, & K. Y. Chan (Eds.), Soil Health and Climate Change, Soil Biology vol.28, Springer-Verlag GmbH, Berlin, pp. 69–85. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_4.
5. Evans C. D., Monteith D. T., Cooper D. M. (2005). Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. Environmental Pollution 137: 55-71.
6. D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. Adv. Water Resour., 51, 326-344.
7. Corwin, D. L. (2020). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. European Journal of Soil Science. 72(2):842-862.
8. Rahman, M. S., Di, L., Yu, E. G., Tang, J., Lin, L., Zhang, C., Gaigalas, J. (2018). Impact of Climate Change on Soil Salinity: A Remote Sensing Based Investigation in Coastal Bangladesh. 2018 7th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics).
https://doi.org/10.1109/agro-geoinformatics.2018.8476036.
9. Chan K. Y., (2011). Climate Change on Soil Structure and Soil Health: Impacts and Adaptation. in B. P. Singh, A. L. Cowie, & K. Y. Chan (Eds.), Soil Health and Climate Change, Soil Biology vol.28, Springer-Verlag GmbH, Berlin, pp. 49-68 https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_4.
10. Shakesby R. A., Doerr S. H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. Earth Sci Rev 74:269–307.

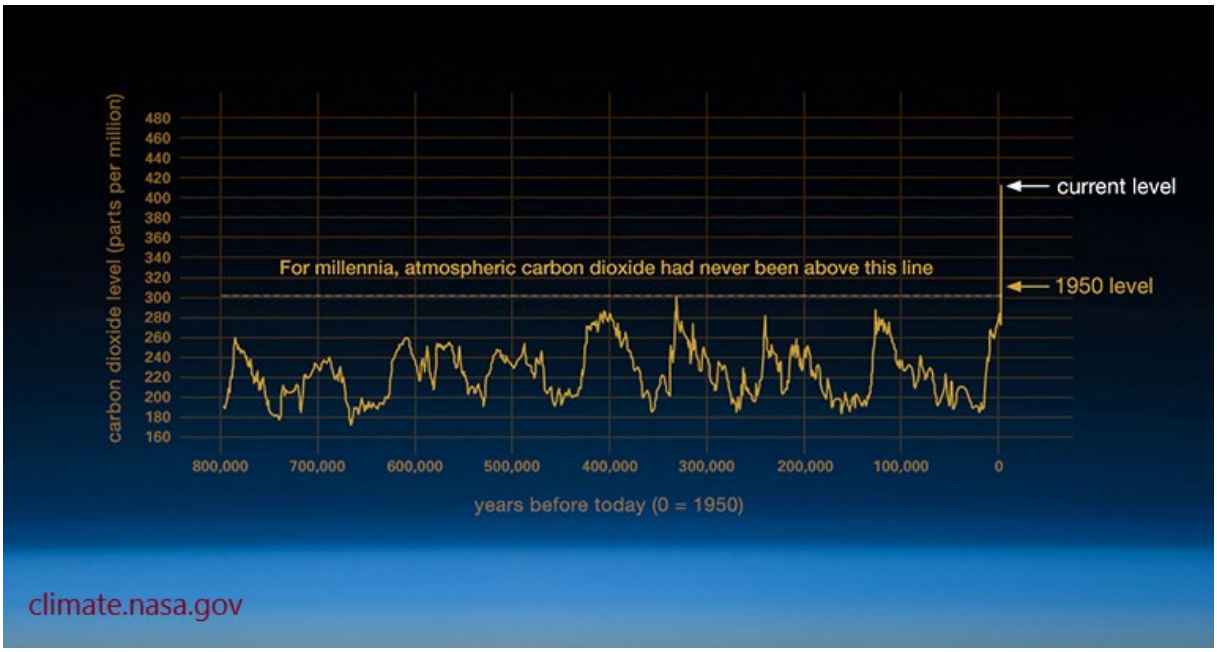
11. Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O. W., Dhillion S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. Eur J Soil Sci 33:159–193.
12. Nearing, M. A., Pruski F. F., O'Neal M. R., (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. J. Soil Water Conserv., 59: 43-50.
13. Blankinship J., Niklaus P., Hungate B. (2011). A meta-analysis of responses of soil biota to global change. Oecologia 165:553-565.
14. Phillips R. P., Meier I. C., Bernhardt E. S., Grandy A. S., Wickings K., Finzi A. C. (2012). Roots and fungi accelerate carbon and nitrogen cycling in forests exposed to elevated CO_2. Ecology Letters 15:1042-1049.
15. Defra (2011). Evaluation of the Occurrence of Soils with pH Higher than 8.3 Observed Within the Countryside Survey.
16. Borken W., Matzner E. (2009). Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. Global Change Biology 15:808-824.
17. Deenik J. (2006). Nitrogen Mineralization Potential in Important Agricultural Soils of Hawai'i. Soil and Crop Management SCM-15.
18. Abdalla, M., Jones M., Williams, M. (2010). Simulation of nitrous oxide emissions from Irish arable soils: effects of climate change and management. Biology and Fertility of Soils 46:247-260.
19. Dobbie K. E., Smith K. A. (2001). The effects of temperature, water filled pore space and land use on N2O emissions from an imperfectly drained gleysol. European Journal of Soil Science 52: 667-673.
20. Dalal R. C., Allen D. E., Chan K. Y., Singh B. P. (2011). Soil Organic Matter, Soil Health and Climate Change. in B. P. Singh, A. L. Cowie, & K. Y. Chan (Eds.), Soil Health and Climate Change, Soil Biology vol.28, Springer-Verlag GmbH, Berlin, pp. 87-106 https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_4
21. Hungate B. A., Hart S. C., Selmants P. C., Boyle S. I., Gehring C. A. (2007) Soil responses to management, increased precipitation, and added nitrogen in ponderosa pine forests. Ecol Appl 17:1352–1365.
22. Garten Jr. C. T., Classen A. T., Norby R. J. (2009). Soil moisture surpasses elevated CO2 and temperature as a control on soil carbon dynamics in a multi-factor climate change experiment. Plant Soil 319:85–94.
23. Bellamy P. H., Loveland P. J., Bradley R. I., Murray Lark R., Kirk G. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. Nature 437:245–248.
24. Hopkins D. W., Waite I. S. , McNicol J. W., Poulton P. R., MacDonald A. J., O'Donnell A. G. (2009). Soil organic carbon contents in long-term experimental grassland plots in the UK (Palace Leas and Park Grass) have not changed consistently in recent years. Glob Change Biol 15:1739–1754.

Bugetul de carbon al solurilor agricole

Datorită utilizării combustibililor fosili în întreaga lume, am întâmpinat o problemă care a devenit din ce în ce mai mare. Mai ales în secolul trecut, încălzirea globală a intrat în viața noastră ca o problemă importantă din cauza creșterii emisiilor gazelor cu efect de seră în atmosferă.

De fapt, clima lumii s-a schimbat de multe ori de-a lungul istoriei. Cele mai multe dintre aceste schimbări climatice au rezultat din modificări ale energiei solare pe care o primește planeta din cauza unor mici modificări în orbita Pământului.

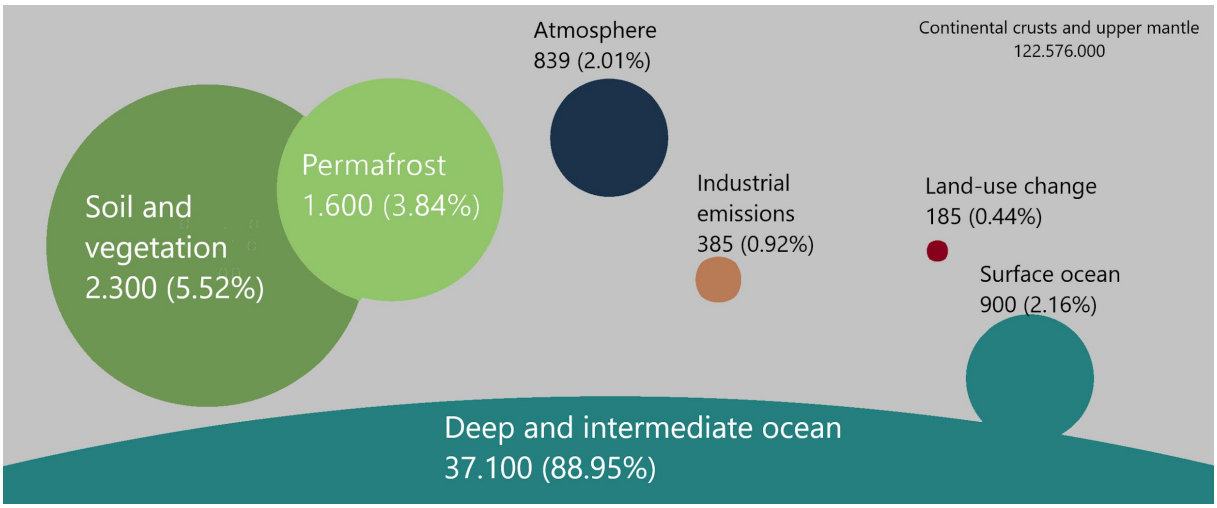
Rata producerii gazelor cu efect de seră din atmosferă a început să crească odată cu revoluția industrială care a început în mijlocul secolului al XVIII-lea și a atins valori de aproape 400 ppm în prezent (Figura 1). Creșterea procentului de dioxid de carbon se datorează în mare măsură utilizării combustibililor fosili. Un alt factor important în această creștere este schimbarea destinației terenurilor, în special defrișarea.



Ciclul Global al Carbonului

Carbonul este un element esențial pentru viață. Deplasare carbonului în forme organice și anorganice între atmosferă, biosferă, hidrosferă și pedosferă este denumită ciclul carbonului [1]. Ciclul carbonului este un sistem care susține întreaga viața. Carbonul din atmosferă este captat de organismele fotosintetizatoare și apoi transferat animalelor prin lanțul alimentar. Aceste creaturi emit CO_2 în atmosferă prin respirație sau, atunci când mor, carbonul din corpul lor se acumulează în sol sau apă.

În întreaga lume, carbonul este stocat în diferite forme și zone (Figura 2). Cea mai mare cantitate de carbon de pe pământ se găsește în plăcile continentale și manta terestră superioară. Apoi, cel mai mare stoc este găsit în oceane, majoritatea fiind sub formă de carbon dizolvat anorganic care rămâne aproape constant. Există doar 900 Gt de carbon în oceane care poate fi schimbat în alte forme. Carbonul din atmosferă se găsește sub formă de CO_2 și reprezintă aproximativ 839 Gt de carbon. Se estimează că solurile, împreună cu solurile înghețate, stochează în total aproximativ 3500 Gt de carbon [2].



Carbonul organic din sol

Carbonul organic din sol este partea care rămâne în sol după ce resturile organismelor vii au fost parțial descompuse. Carbonul organic din sol este componenta principală a materiei organice din sol și este sursa de energie a acestuia. Carbonul organic, care joacă un rol major în reglarea proprietăților de bază ale solului, are un rol important în menținerea fertilității solului. Pierderea carbonului organic din soluri este un indicator important al degradării acestuia.

După oceane, ecosistemele terestre sunt cele mai mari zone de stocare a carbonului. Carbonul nu este stocat doar în plantele de pe uscat, ci și în sol în cantități mai mari. Prin urmare, chiar și schimbările mici în masa carbonului organic din sol pot avea efecte profunde asupra concentrației atmosferice de CO_2 și, prin urmare, asupra schimbărilor climatice. Stocul estimat de carbon în ecosistemele terestre de pe Pământ este prezentat în Tabelul 1.

Tabelul 1. Stocurile estimate de carbon în ecosistemele terestre [3]

Ecosistemul	Stocuri globale de carbon (Pg C)		
	Masa verde	Sol	Total
Păduri tropicale	212	216	428
Păduri din zona temperată	59	100	159
Păduri arctice	88	471	559
Păduri și terenuri cu iarbă la tropice	66	264	330
Pășuni și tufișuri în zona temperată	9	295	304
Deșerturi și semi-deșerturi	8	191	199
Tundre	6	121	127
Zone agricole	3	128	131
Zone umede	15	225	240
TOTAL	466	2011	2477

Există diferențe semnificative în distribuția carbonului stocat în funcție de factori precum condițiile climatice, structura și utilizarea terenului, și factorii de mediu. De exemplu, cantitatea de carbon stocată în partea de sus a solului este mai mare în zonele umede și calde tropicale decât în orizonturile

mai joase. În contrast, pădurile situate la latitudini nordice au rezerve enorme de carbon subteran. Situația este mai complexă în regiunile climatice temperate [2].

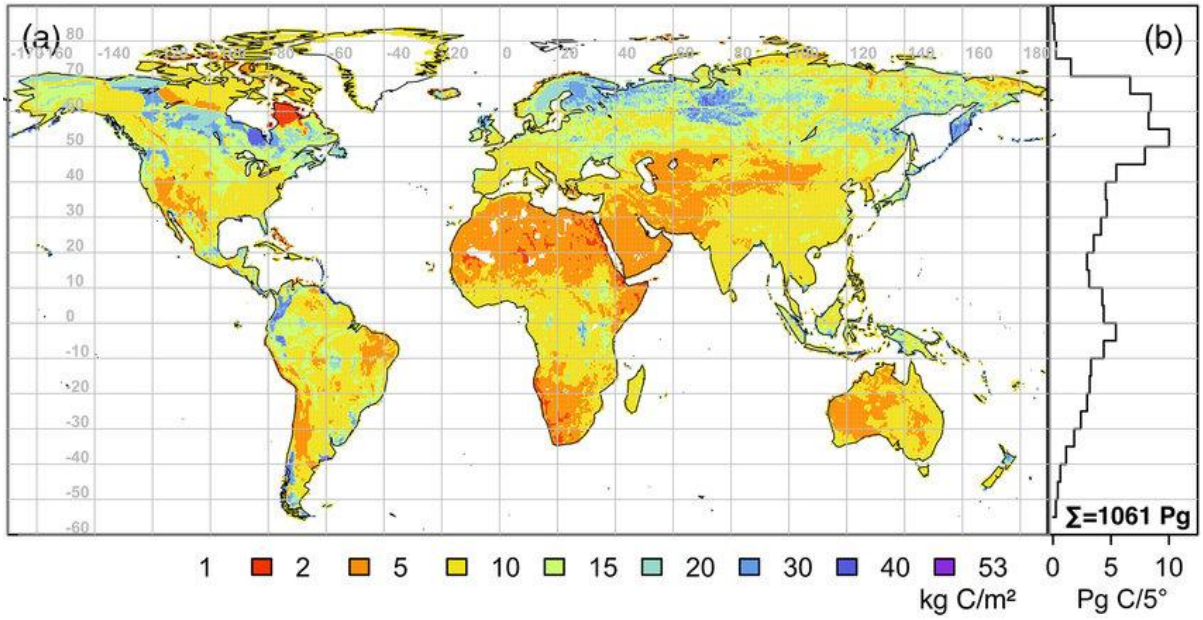
Cantitatea de carbon la diferite adâncimi ale solului este diferită. Deoarece principala sursă de materie organică a solului este reprezentată de organisme vii care au murit, în mare măsură adâncimile superioare ale solului sunt bogate în carbon organic, concentrația acestuia scăzând cu adâncimea. Carre și colaboratorii [3] au produs o modalitate de estimare ale stocurilor de carbon organic din sol folosind metodologia IPCC (Grupul interguvernamental privind schimbările climatice) și modelarea HWSD (Harmonized World Soil Database – Baza de Date Armonizată a Solurilor Lumii). Rezultatele obținute sunt rezumate în Tabelul 2 în funcție de adâncime și zonele climatice ale IPCC.

Tabelul 2. Distribuția carbonului organic în sol în funcție de tipul de climat

Regimul Climatic conform IPCC	IPCC	HWSda		
	0-30cm	0-30cm	30-100cm	0-100cm
	Pg C			
Tropical umed	52,4	62,6	65,4	128,0
Tropical musonic	94,5	78,6	72,3	150,9
Tropical uscat	99,9	67,3	69,0	136,2
Terenuri înalte tropicale	49,8	29,6	26,5	56,1
Temperat umed	41,7	33,3	29,7	63,0
Temperat uscat	42,9	38,9	39,6	78,5
Temperat umed și rece	110,6	104,1	106,2	210,3
Rece și uscat	56,9	52,2	50,0	102,2
Boreal umed	137,3	162,0	194,7	356,7
Boreal uscat	30,3	32,0	37,0	68,1
Polar umed	26,8	30,6	21,7	52,4
Polar uscat	7,2	8,0	4,3	12,3
TOTAL	750,3	699,3	716,4	1415,7

Se estimează că cea mai mare cantitate de carbon organic în sol, de 190 Pg, este depozitată în zonele cu soluri predominant de turbă situate la latitudini nordice. Carbonul stocat în aceste zone se găsește în mare parte în primii 30 cm de sol. Activitatea biologică scăzută și descompunerea lentă a materiei organice au dus la acumularea unei cantități mari de carbon în solurile din aceste regiuni. Acest tip de sol este adesea numit histosol și conține aproximativ 12-18% carbon organic [4]. Pe de altă parte, în regiunile uscate și calde precum deșertul Sahara, acoperirea vegetației este redusă iar intrarea carbonului în sol este foarte limitată. Solurile tipice acestor zone conțin adesea mai puțin de 0,6% carbon organic [5].

Masa globală a carbonului organic din sol (SOC) este legată de ciclul carbonului. Un model bazat pe estimările actuale (HWSD) estimează o masă totală de 2476 Pg la nivel global [6]. Valoarea obținută prin corectarea densității aparente a solurilor organice HWSD și în special a histosolilor duce la o valoare egală cu 1062 Pg (Figura 3).



Modificări ale stocurilor de carbon

Cantitatea de carbon stocată în atmosfera Pământului este foarte mică în comparație cu carbonul stocat în oceane și pe uscat (Figura 2). Atât cantitatea, cât și direcția de deplasare a carbonului între diferitele rezervoare de carbon pot avea un impact major asupra schimbărilor climatice. Conform măsurătorilor realizate pe nuclee de gheață, concentrația de CO_2, care se credea că era de aproximativ 280 ppm în perioada preindustrială, a crescut până la peste 380 ppm în prezent, iar cea mai importantă parte din această creștere se datorează utilizării combustibililor fosili. În anii 1960, s-a descoperit deja că doar o parte din CO_2 emis se acumulează în atmosferă, în timp ce restul este reținut pe Pământ. Totuși, după 1980, s-a înțeles că biosfera terestră este, de asemenea, un actor important în echilibrul global al carbonului atmosferic, la fel ca oceanele [7]. S-a înțeles că schimbarea destinației terenurilor, în special defrișările, duce la pierderi semnificative de carbon terestru în atmosferă.

Bugetul global al CO_2 atmosferic este prezentat în Tabelul 3 pentru perioada 1980–2005 [8]. După cum se poate observa în Tabelul 3, eliberarea netă de către biosfera terestră este cu aproximativ 50% mai mică decât eliberarea netă a oceanelor. Emisiile de CO_2 datorate schimbărilor în utilizarea terenurilor sunt mai dificil de prezis.

Tabelul 3. Bugetul carbonului pentru diferite perioade Gt C an $^{-1}$ (valorile din paranteze reflectă domeniul estimat)

	Anii 1980	Anii 1990	2000–2005	1980–2005
Creșterea atmosferică	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1	4,1 ± 0,1	3,5 ± 0,1
Emisii industriale	5,4 ± 0,3	6,3 ± 0,3	7,2 ± 0,3	6,2 ± 0,3
Fluxul net din ocean în atmosferă	-1,8 ± 0,8	-2,2 ± 0,4	-2,2 ± 0,5	-2,0 ± 0,5
Fluxul net de la sol în atmosferă	-0,3 ± 0,9	-0,1 ± 0,6	-0,9 ± 0,6	-0,7 ± 0,6
Fluxul datorat schimbării destinației solului	1,4 (0,4-2,3)	1,6 (0,5-2,7)	1,5	1,5 (0,5-2,5)
Cantitatea terestră rămasă	-1,7 (-3,4-0,2)	-2,6 (-4,3--0,9)	-2,4	-2,2 (-3,8--0,6)

Consumul de combustibili fosili este acceptat ca fiind forța motrică a schimbărilor climatice [9]. Emisiile de carbon induse de om (antropogenice) au afectat nu numai atmosfera, ci și rezervele oceanice și terestre. De fapt, stocarea carbonului în oceane și vegetația terestră a crescut în ultimele două secole. Oceanele absorb 2,3 Gt de carbon C în fiecare an [10]. Similar, rata netă de absorbție a CO_2 atmosferic de către biomi terestrii s-a dublat aproape în comparație cu secolul al XVIII-lea, depășind 2.6 Gt C pe an. În prezent, există o acumulare netă de 4 Gt C pe an în atmosferă, în ciuda îndepărtării anuale a aproximativ 5 Gt C din atmosferă de către oceane și suprafața terestră [2]. Această creștere a CO_2 atmosferic va continua să provoace creșteri ale nivelurilor de CO_2, ducând la o disponibilitate redusă a oxigenului și la o creștere a acidității oceanelor, și astfel la feedback-uri climatice dăunătoare [11]. Pe de altă parte, se așteaptă că va exista o creștere a emisiilor de CO_2 și CH_4 stocate în solurile înghețate datorită topirii. Există un potențial pentru o creștere a feedback-urilor climatice datorate carbonului terestru ca rezultat al creșterii frecvenței și intensității evenimentelor extreme de climă [12].

Există o scădere a carbonului organic din sol în zonele care au fost transformate din păduri în terenuri agricole. În aceste condiții, stratul de acoperire format din reziduurile vegetale de la suprafața solului dispare, iar sursa de materie organică dispare odată cu el. Pe măsură ce solul este lucrat, descompunerea materiei organice este accelerată și solul devenind deschis transportului datorită eroziunii. Dispariția zonelor de pădure care acționează ca un puț de carbon face ca aceste zone să devină surse de carbon. Se estimează că anual au loc emisii de 2,1 miliarde de tone de CO_2 datorită degradării pădurilor tropicale, dintre care 53 % se datorează producției de cherestea, 30 % lemnului de foc și 17 % incendiilor de pădure [13].

Degradarea solului, care este în același timp cauza și rezultatul schimbărilor climatice, este definită ca diminuarea pe termen lung a valorii solului și a productivității biologice, conform estimărilor suprafața solului fiind degradată cu 7-40 % din cauze umane [14].

Mangrovele, alcătuite din arbori și arbuști în zonele de coastă reprezentând stocuri importante de carbon, scad constant. 40 % din zonele de mangrove sunt amenințate cu dispariția după ce au suferit pierderi semnificative în ultimii ani [15]. Mangrovele pot stoca până la 25.5 milioane de tone de carbon pe an [16] și furnizează oceanelor mai mult de 10% din carbonul organic necesar [17]. Se estimează că între 0,15 și 1,02 miliarde de tone de carbon sunt eliberate anual din cauza degradării mangrovelor, mlaștinilor și pășunilor de iarbă de mare [18].

În regiunile apropiate de poli, solul este expus din ce în ce mai mult odată cu topirea ghețarilor și a zăpezilor, acest lucru determinând creșterea căldurii absorbite de către sol, reflectată în prezența gheții sau a zăpezii, provocând astfel o încălzire mai puternică. Conform unui scenariu creat prin modelare pentru secolul al XXI-lea, s-a determinat o creștere de 1,4–1,8 Wm^{-2} în cantitatea de radiație cu lungime de undă scurtă absorbită la nivel global datorită reducerii acoperirii cu gheață în Marea Nordică și Oceanul Antarctic [19].

Datorită urbanizării în creștere, se observă schimbări în acoperirea terenurilor, în timp ce biodiversitatea scade, iar degradarea solului crește. Ca rezultat, are loc pierderea biomasei și reducerea stocarea carbonului. Dacă tendințele actuale în densitatea populației continuă, se estimează că suprafața urbană va crește cu 1,2 milioane km^2 până în 2030. Această creștere va duce la pierderi semnificative de habitate, în special în zonele care au fost relativ mai puțin afectate de extinderea urbană. În cadrul întregului tropic, se estimează că pierderea biomasei vegetale din zonele cu probabilitate mare de extindere urbană este de 1,38 PgC (aproximativ 0,05 PgC pe an), ceea ce reprezintă aproape 5 % din emisiile rezultate din defrișările tropicale și schimbările de utilitate a terenurilor [20].

Importanța stocării carbonului în sol

Sechestrarea carbonului reprezintă transferul de CO_2 din atmosferă în așa fel încât să nu poată fi reîntors în atmosferă într-un timp scurt și să fie stocat în rezervoarele de carbon organic din sol pentru o perioadă lungă de timp. Este un fenomen care a atras multă atenție mai ales recent în contextul limitării schimbărilor climatice prin reducerea emisiilor de CO_2 în atmosferă. Sechestrarea carbonului în soluri este tehnic fezabilă și are un potențial semnificativ. Se estimează că între 0,90 și 1,85 Pg de carbon pe an pot fi capturate în zonele cultivate din întreaga lume [21].

Mecanismul de captare a carbonului

Carbonul stocat de plante acoperă solul cu părțile moarte ale plantelor care se întorc astfel în sol. Materia organică din acest strat de acoperire se poate descompune și să se întoarcă în atmosferă sub formă de CO_2 sau se poate amesteca cu solul într-o măsură semnificativă. În acest fel, carbonul organic este stocat în sol.

Principala sursă de carbon organic din sol este materia organică care a fost amestecată în sol prin descompunerea vegetației moarte. Descompunerea vegetației moarte are loc prin oxidare și humificare [22]. Materia organică se mineralizează prin oxidare dacă condițiile sunt potrivite. Ca rezultat al oxidării, carbonul se transformă în CO_2, hidrogenul în H_2O, azotul în NO_2^- și NO_3^-, sulful în SO_3^{-2} și SO_4^{-2}, iar fosforul în PO_4^{-3} [23]. Între timp, substanțele nutritive din plante conținute în materia organică sunt și ele eliberate [24]. În absența condițiilor necesare pentru descompunere, procesele oxidative sunt limitate. În acest caz, intervine humificarea, fenomen care se produce mai lent și asigură descompunerea materiei organice [23]. Aceste evenimente au loc în trei etape. Mai întâi, compușii de înaltă polimerizare sunt descompuși în monomeri. În a doua etapă, țesuturile plantelor sunt parțial consumate de animalele din sol și descompuse. În etapa finală, reziduurile organice descompuse sunt modificate de microorganisme. În timp ce părțile cele mai ușor degradabile conține substanțele solubile în apă, cum ar fi carbohidrații și pectina, părțile bogate în celuloză și lignină necesită mai mult timp pentru a se descompune [24]. Partea care apare ca rezultat al descompunerii își pierde textura și se transformă în humus amorf și coloidal, nefiind cunoscută care parte a plantei suferă acest proces [23]. Ca urmare a descompunerii avansate, apar substanțe humice în sol. Substanțele humice cu o suprafață mare se regăsesc fie lipite între ele, fie legate de mineralele argilei și de oxizii [24]. Unele compuși din structura materiei organice, cum ar fi aminoacizii, carbohidrații și unele acizi organici, sunt numiți substanțe non-humice. Clasificarea materiei organice din sol ca humică și non-humică este legată de stabilitatea sau instabilitatea carbonului, care formează baza materiei organice din sol [22]. Carbonul organic instabil din sol este partea materiei organice care se descompune într-un timp scurt, în timp ce carbonul stabil din sol poate să se descompună în mii de ani. Fluxul de CO_2 între sol și atmosferă este ghidat de oxidarea carbonului organic instabil din sol [25].

Efectul utilizării solului în capturarea carbonului

Tabelul 4. Efectul schimbării destinației terenurilor asupra resurselor de carbon din sol

Disponibil / **Nou**	**Pajiști**	**Pădure**	**Terenuri agricole**
Pajiști		Niciun efect	C scade
Păduri	Niciun efect		C scade
Terenuri agricole	C crește	C crește	

Modul de utilizare a terenurilor este de o importanță majoră în sechestrarea carbonului în sol. Pășunile și pădurile, în general, sechestrează carbonul la o rată mai mare decât terenurile arabile. Între aceste

categorii, se așteaptă ca echilibrul de carbon al solului să fie puternic afectat de schimbările în destinația terenurilor (Tabelul 4). Carbonul organic din sol tinde să scadă atunci când pădurile, pășunile sau alte ecosisteme locale sunt transformate în terenuri agricole arabile. Pe de altă parte, când situația este inversă, există o tendință ascendentă în cantitatea de carbon organic din sol [26].

Există multe studii care urmăresc starea conținutului de carbon organic din sol atunci când apar schimbări de folosință a terenurilor. Guo și Gifford au încercat stabilirea efectelor acestor procese asupra stocurilor de carbon din sol [27] printr-o meta-analiză, revizuind un număr mare de rezultate publicate în literatura de specialitate. Conform rezultatelor, stocurile de carbon din sol au scăzut în conversia de la pajiști la plantații (-10%), de la pădure naturală la plantații (-13%), de la pădure naturală la câmp (-42%) și de la pășune la câmp (-59%). În plus, s-a observat o creștere a conținutului de carbon organic din sol în zonele convertite de la pădure naturală la pajiște (+8%), de la câmp la pajiște (+19%), de la câmp la plantație (+18%), și de la câmp la pădure (+53%).

Într-un studiu care a luat în considerare numeroase rezultate publicate în literatura de specialitate au fost identificate posibilele modificări ale stocurilor de carbon din sol atunci când zonele forestiere au fost convertite în zone agricole, constatându-se că conținutul de carbon din sol a fost redus în medie cu 30% în cazul conversiei pădurilor în terenuri agricole [28].

Într-un alt studiu care a examinat efectele împăduririi, în special asupra stocării carbonului în sol, s-au creat câmpuri de *Pinus radiata* pe locul în care anterior crescuse grâu și viță de vie. Rezultatele au determinat prin modelare stocarea carbonului în sol în urma creării plantațiilor de pin [29]. După împădurirea vechilor vii, s-a observat creșterea cantității de carbon în primii 5 cm de sol, în timp ce conținuturile de azot au rămas aceleași sau au scăzut. În timp ce cea mai mare parte a acumulării de materie organică din timpul împăduririi a avut loc în straturile superioare ale solului, s-a constatat că acumularea anuală de carbon pe metru pătrat a fost de 19 g în zonele cultivate cu viță de vie și 41 g în zonele cultivate cu grâu. În studiu, s-a estimat un potențial de sechestrare a carbonului de 950 și 700 g C/m^2 în 20 de ani pentru vița de vie și respectiv grâu folosind modelele RothC și Century.

Facilitarea capturării carbonului pe terenurile agricole

În timp ce crește cererea de hrană ca și cantitate și diversitate, devine extrem de importantă protejarea terenurile agricole existente și limitarea convertirii zonelor naturale în terenuri pentru agricultură. În plus, creșterea productivității în zonele agricole existente și luarea unor măsuri de limitare a pierderilor de carbon organic din sol impun o responsabilitate imensă asupra oamenilor pentru a minimiza efectele schimbărilor climatice.

Termenul "sechestrare a carbonului în sol" se referă la eliminarea CO_2-ului atmosferic de către plante și la stocarea carbonului fixat sub formă de materie organică în sol. Principala strategie în combaterea schimbărilor climatice este creșterea densității de carbon organic în sol, îmbunătățirea distribuției carbonului pe adâncime în sol și stabilizarea carbonului. În acest context, gestionarea corectă a agroecosistemelor reprezintă o strategie importantă pentru a crește sechestrarea de carbon organic în sol.

Utilizarea greșită a terenurilor și practicile necorespunzătoare de gestionare a solului duc la epuizarea carbonului organic prin eliberarea de CO_2 și a altor gaze cu efect de seră în atmosferă, în timp ce consolidarea rezervorului de carbon organic reprezintă un instrument puternic pentru echilibrarea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Pentru restaurarea solurilor și ecosistemelor degrade, se reabilitează terenurile agricole marginale, se înființează culturi cu plante perene și sunt adoptate practici agricole în conformitate cu recomandările

existente(Tabelul 5), practici care pot duce la o creștere semnificativă a capacității de sechestrare a materiei organice în sol. Deși practicile agricole sugerate sunt în general similare (agricultură cu aplicare de mulci, lucrări reduse de arătură, practici integrate de nutriție vegetală, practici agricole integrate de control, tehnici de agricultură de precizie), acestea sunt într-o oarecare măsură specifice fiecărei zone vizată.

Tabelul 5. Comparație între practicile tradiționale și practicile recomandate în vederea îmbunătățirii sechestrării carbonului în sol.

Practici tradiționale	Practici agricole recomandate
Arderea biomasei și distrugerea reziduurilor	Reciclarea reziduurilor cu aplicare de mulci
Arătura convențională	Arătură conservativă sau no-tillage
Practici de nelucrare	Aplicarea culturilor de acoperire în afara sezonului
Monocultură	Rotația unui număr variat de culturi
Utilizarea intensivă a îngrășămintelor chimice	Management integrat al nutrienților prin utilizarea compostului, a îngrășămintelor organice și reciclarea nutrienților, agricultură de precizie
Cultivarea intensivă	Integrarea producției vegetale cu cea animală
Irigarea de suprafață	Utilizarea sistemelor moderne de irigații
Utilizarea intensivă a pesticidelor	Combaterea integrată
Cultivarea terenurilor marginale	Programe de conservare a rezervelor și restaurare a terenurilor degradate prin convertirea utilității terenurilor

În conformitate cu practicile rezumate în Tabelul 5, dacă perturbările solului cauzate de lucrările de arătură sunt eliminate, pierderile prin eroziune sunt minimizate, iar cantități mari de biomasă de rădăcină și părți aeriene ale plantelor revin în sol ducând la creșterea cantității de carbonstocat în sol. Aceste practici conservă apa din sol, îmbunătățesc calitatea solului, cresc productivitatea și îmbunătățesc acumularea de carbon organic în sol. Odată cu transportul carbonului organic către straturile de subsol, timpul de retenție al carbonului în soluri este extins.

Biodiversitatea solului are un efect pozitiv asupra carbonului organic din sol. Ecosistemele cu o biodiversitate ridicată reține mai mult carbon decât ecosistemele cu o biodiversitate redusă. Pajiștile, pășunile și pădurile reține o cantitate mai mare de carbon decât terenurile agricole [30].

Mai jos sunt discutate pe scurt unele dintre practicile de gestionare a solului și a culturilor care îmbunătățesc rezervorul de carbon organic din sol.

Lucrări agricole de conservare

Lucrările agricole convenționale și eroziunea duc la epuizarea rezervelor de carbon organic din solurile agricole. Prin urmare, capacitățile de stocare a carbonului din soluri vor fi crescute dacă se trece la agricultura fără lucrări de arat sau dacă sunt aplicate metode de lucrare a solului care minimizează degradarea acestuia.

Utilizare culturilor de acoperire

În rotația culturilor este important să se includă culturile de acoperire pentru a crește sechestrarea carbonului organic în sol. Utilizarea culturilor de acoperire este o metodă durabilă pentru a reduce efectele schimbărilor climatice. Prin utilizarea culturilor de acoperire, se poate crește cantitatea de azot și carbon din sol, se reduc scurgerile de nitrați iar solul este protejat împotriva eroziunii. În procesul de rotație a culturilor, utilizarea culturilor de acoperire, în special în perioadele în care terenul

nu este utilizat, este o modalitate importantă de a crește stocarea carbonului în sol prin biomasa produsă. Dacă plantele care urmează să fie utilizate sunt leguminoase, acestea vor adăuga o cantitate semnificativă de azot în sol.

Prin utilizarea culturilor de acoperire, scurgerea de nitrați poate fi redusă în două moduri. Pe de o parte, plantele absorb nitrații din sol, iar pe de altă parte, ele reduc efectul de infiltrare prin utilizarea apei din sol care va cauza infiltrarea. S-a constatat că culturile de acoperire non-leguminoase reduc cantitatea de NO_3 care se scurge în sursele de apă subterană cu o valoare medie de 56% [31].

Nutriția plantelor și aplicarea irigațiilor

Este extrem de importantă gestionarea corectă a nutriției plantelor în zonele agricole atunci când vine vorba de sechestrarea carbonului organic în sol. În general, utilizarea îngrășămintelor organice și a compostului va îmbunătăți rezerva de carbon organic din sol mai mult decât utilizarea îngrășămintelor anorganice. Atunci când cantitatea de carbon organic din sol scade sub 1%, sănătatea solului este afectată negativ și productivitatea scade. Pe de altă parte, creșterea cantității de carbon organic din sol reprezintă și o modalitate de a stimula sechestrarea carbonului, deoarece crește capacitatea agro-ecosistemelor de a absorbi CO_2-ul atmosferic și de a-l stoca în sol [32]. Un studiu desfășurat pe parcursul a 41 de ani într-un câmp de orez din India a încercat să determine efectele aplicării îngrășămintelor organice asupra conținutului de carbon organic din sol [33]. În urma studiului, în timp ce în parcelele de control unde nu s-a aplicat îngrășământ organic s-au găsit 36 Mg C într-o suprafață de 1 hectar, cantitatea de carbon organic a fost de 46,3 Mg cu o creștere de 29% pe terenul în care fertilizarea chimică a fost combinată cu gunoiul de animale.

Pe de altă parte, dacă irigarea este realizată luând în considerare necesitățile plantei, așa cum se întâmplă în aplicarea îngrășămintelor în sol, va avea loc o creștere a biomasei plantelor și, astfel, cantitatea de carbon organic care intră în sol va crește.

Managementul pajiștilor și pădurilor

La nivel global, restaurarea terenurilor degradate este importantă pentru sechestrarea carbonului organic în sol. Creșterea sechestrării carbonului în sol poate fi realizată prin unele măsuri, cum ar fi transformarea zonelor marginale folosite în agricultură în pășuni, folosirea îngrășămintelor în pășuni, pășunatul controlat și alegerea leguminoaselor potrivite pentru a fi cultivate. S-a raportat că într-o suprafață de un hectar se pot reține anual între 0,11 și 3,04 Mg C prin îmbunătățirea pășunilor, iar cantitatea medie de carbon capturată va fi de 0,54 Mg [34].

Similar, conversia unor zone marginale folosite în producția agricolă dar degradate în păduri sau plantații de plante perene poate fi o modalitate utilă de îmbunătățire a rezervei de carbon organic din sol. În acest sens este foarte important să se realizeze o planificarea corectă. În unele studii s-a raportat că pot apărea scăderi în conținutul de carbon organic în astfel de situații. S-a constatat că împădurirea unui cimitir cu pin (*Pinus radiata*) în Noua Zeelandă a dus la o scădere a conținutului de carbon organic din sol cu 15% [29].

Potențialul solurilor pentru sechestrarea carbonului

În primii 30 cm de sol este stocată o cantitate de 130 Pg de carbon în toate terenurile agricole (Tabelul 6). America de Nord, Eurasia (Rusia) și Europa contribuie cu mai mult de 50% din totalul stocurilor de carbon organic din terenurile cultivate din întreaga lume. În schimb, America Centrală, Africa de Nord și Australia au puțin peste 4,6% din totalul global de carbon organic stocat în sol. America de Sud are 9,42 Pg C, în ciuda deținerii unei cantități semnificative de terenuri agricole. Rusia este țara cu cel mai mare stoc de carbon din lume, cu 21,9 Pg C în zonele cultivate, reprezentând 17% din totalul țării. Urmează Statele Unite (18,9 Pg C), China (8,4 Pg C) și India (6,4 Pg C) [21].

Tabelul 6. Totalul de carbon organic în sol și media totală curentă, precum și scenarii de sechestrarea maximă pentru următorii 20 de ani (adaptare din Zomer și colaboratorii., [21])

Teren arabil (0-30 cm adâncime)	Teren arabil	Carbon organic în sol				
		Disponibil	Peste 20 de ani		Creșterea anuală	
Scenariu			Medie	Maximă	Medie	Maximă
REGIUNEA	**km ²**	**Pg C**			**Pg C an $^{-1}$**	
Australia	659,834	3,75	4,50	5,29	0,04	0,08
America centrală	139,742	1,22	1,37	1,52	0,01	0,02
Asia centrală	369,061	5,01	5,40	5,81	0,02	0,04
Asia de est	1,262,134	9,14	10,52	11,97	0,07	0,14
Africa de est și sud	1,055,461	5,64	6,80	8,02	0,06	0,12
Europa	1,995,564	21,05	23,26	25,60	0,11	0,23
Africa de nord	258,602	1,51	1,83	2,17	0,02	0,03
America de nord	1,260,786	28,07	31,52	35,16	0,17	0,35
Rusia	1,235,827	21,94	23,19	24,52	0,06	0,13
America de sud	1,753,039	9,42	10,72	12,09	0,06	0,13
Asia de sud	852,619	7,68	9,87	12,18	0,11	0,22
Asia de sud-est	1,307,174	8,15	9,06	10,03	0,05	0,09
Africa de vest și centrală	891,532	4,83	6,35	7,95	0,08	0,16
Asia de vest	2,893,928	4,38	5,44	6,57	0,05	0,11
Total	15,935,304	131,81	149,84	168,87	0,90	1,85

În Tabelul 6 este prezintat potențialul de retenție a carbonului organic în solurile agricole conform a două scenarii diferite, precum și cu stocurile de carbon disponibile la nivel global și prognozele pentru următorii 20 de ani la nivel regional și global. Conform analizei, se observă că există un potențial global de stocare între 0,90 și 1,85 Pg C pe an. America de nord a prezentat cel mai mare potențial global de stocare a carbonului, cu valori între 0,17 și 0,35 Pg C pe an. Africa de nord dispune de foarte puține terenuri arabile și, astfel, are cel mai mic potențial pentru sechestrarea carbonului.

Bibliografie

1. Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L., & Wall, D. H. (2016). Global Soil Biodiversity Atlas. Lüksemburg: European Commission Publications Office of the European Union.
2. Janowiak, M., Connelly, W. J., Dante-Wood, K., Domke, G. M., Giardina, C., Kayler, Z., Marcinkowski, K., Ontl, T., Rodriguez-Franco, C., Swanston, C., Woodall, C. W., & Buford, M. (2017). Considering Forest and Grassland Carbon in Land Management. Gen. Tech. Rep. WO-95. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service. 68 p.
3. Janzen, H. H. (2004). Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective, Agriculture, Ecosystems and Environment 104:399-417.
4. FAO, (2017). Global Soil Organic Carbon Map. https://www.fao.org/3/i8195e/i8195e.pdf (Acess date: 28.09.2022).
5. Topçu G. D., Özkan Ş. S., & Hamidi M. (2020). İklim değişikliğinde örtü bitkilerinin rolü ve önemi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 13(2): 95-101, 2020.

6. Köchy M., Hiederer R., & Freibauer A. (2014). Soil carbon masses and frequency distributions of SOC stocks. SOIL Discuss., 1, 327–362.
7. Heimann M. (2007). Present and Future Carbon Sources and Sinks. Forestry and Climate Change. Edited by Peter H. Freer-Smith Mark S. J., Broadmeadow, Jim M. Lynch. Printed and bound in the UK by Cromwell Press, p. 17-24.
8. Denman, K. L., Brasseur G., Menon S, Chidthaisong A, Ciais P, & Cox P. M., Dickinson R. E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran, S., Wofsy S. C., & Zhang X. (2007). Couplings between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: S. Solomon, (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 500-587.
9. IPCC. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R. K. Pachauri, & L. A. Meyer, (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland; Cambridge: Cambridge University Press. 151 p.
10. Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. In: T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley, (Eds.) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K., and New York, NY. Cambridge University Press: 465–570.
11. Levin, L. A., & Le Bris, N. (2015). The deep ocean under climate change. Science 350: 766–768.
12. Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M.D., Smith, P., van der Velde, M., Vicca, S., Babst, F., Beer, C., Buchmann, N., Canadell, J. G., Ciais, P., Cramer, W., Ibrom, A., Miglietta, F., Poulter, B., Rammig, A., Seneviratne, S. I., Walz, A. Wattenbach, M., Zavala, M. A., & Zscheischler, J. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. Global Change Biology. 21: 2861–2880.
13. Pearson T. R. H., Brown S., Murray L, & Sidman G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. Carbon Balance and Management volume 12, Article number: 3.
14. Gibbs H. K., & Salmon J.B., (2015). Mapping the world's degraded lands. Applied Geography Volume 57, February 2015, Pages 12-21.
15. Polidoro B. A., Carpenter K. E., Collins L., Duke N. C., Ellison A. M., Joanna C., Ellison, Farnsworth E. J., Fernando E. S., Kathiresan K., Koedam N. E, Livingstone S. R., Miyagi T., Moore G. E., Nam V. N., Ong J. E., Primavera J. H., Salmo III S. G., Sanciangco J. C., Sukardjo S., Wang Y., & Yong J. W. H. (2010). The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. PLoS ONE 5(4): e10095. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010095.
16. Ong J. E. (1993). Mangroves – a carbon source and sink. Chemosphere 27: 1097–1107.
17. Dittmar T., Hertkorn N., Kattner G., & Lara R. J. (2006) Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. Global Biogeochem Cycles 20: GB1012.
18. Pendleton L., Donato D. C., Murray B. C., Crooks S., Jenkins W. A., & Sifleet S. (2012). Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542.
19. Perket J., Flanner M. G., & Kay J. E. (2014). Diagnosing shortwave cryosphere radia-tive effect and its 21st century evolution inCESM,J. Geophys. Res. Atmos.,119,1356–1362, doi:10.1002/2013JD021139.

20. Seto K. C., Güneralp B., & Hutyra L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109:40, 16083 – 16088, https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109.
21. Zomer R. J., Bossio D. A., Sommer R., & Verchot L. V. (2017). Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. Sci Rep 7, 15554. https://doi.org/10.1038/s41598-017-15794-8.
22. Tolunay D., & Çömez A. (2008). Orman topraklarında karbon depolanması ve Türkiye'deki durum. Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar.13-14 Aralık 2007, İstanbul, 97-108.
23. Kantarcı, M. D. (2000). Toprak İlmi (2. Baskı), İ.Ü. Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No.462, Çantay Basımevi, İstanbul.
24. Schachtschabel, P., Blume, H. P., Brümmer, G., Hartge, K. H., & Schwertmann, U. (2007). Scheffer/Schachtschabel Toprak Bilimi, yeniden ele alınarak hazırlanmış 12. baskı, Çeviri: H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök, H. Kaptan, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No:73, Ders Kitapları yayın No: A-16, Adana.
25. Zou, X. M., Ruan, H. H., Fu, Y., Yang, X. D., & Sha, L. Q. (2005). Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation–incubation incubation procedure. Soil Biology & Biochemistry 37:1923–1928.
26. Schils R., Kuikman P., Liski J., Van Oijen M., Smith P., Webb J., Alm J., Somogyi Z., Van den A. J., Billett M., Emmett B., Evans C., Lindner M., Palosuo T., Bellamy P., Jandl R., & Hiederer R. (2008). Review of existing information on the interrelations between soil and climate change. (ClimSoil). Final report. Brussels, European Commission, 208pp.
27. Guo, L. B., & R. M. Gifford, (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. Global Change Biology, 8, pp. 345-360.
28. Murty, D., Kirschbaum, M. U. F., McMurtrie, R. E., & McGilvray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. Global Change Biology, 8, 105–123.
29. Romanyá J., Cortina J., Falloon P., Coleman K., & Smith P. (2000). Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing Pinus radiata on Mediterranean agricultural soils. European Journal of Soil Science, 51, 627–641.
30. Lavelle, P., & Pashanasi, B., (1989). Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia. Pedobiologia 33, 283 – 291.
31. 31 Thapa R., Mirsky S. B., & Tully K. (2018). Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems A Global Meta-Analysis, Journal of the Environmental Quality, 12p.
32. Elbasiouny H., El-Ramady H., Elbehiry F., Rajput V. D., Minkina T., & Mandzhieva S, (2022). Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration. Sustainability 2022, 14, 914. https://doi.org/10.3390/su14020914.
33. Shahid M., Nayak, A. K., Puree, C., Tripathi, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyyaa P., Mohantya S., Kumara A., Pandaa B. B., Kumara U., & Shukla, A. K. (2017). Carbon and nitrogen fractions and stocks under 41 years of chemical and organic fertilization in a sub-humid tropical rice soil. Soil and Tillage Research, 170, 136–146. https://doi:10.1016/j.still.2017.03.008.
34. Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T., (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. Applied Ecology 11, 343 – 355.

Efectele schimbării categoriei de folosință a terenurilor asupra stocurilor de carbon din sol

Cea mai importantă cauză a schimbărilor climatice globale, ale căror efecte le-am simțit mult mai pregnant în ultimii ani, este creșterea ratelor de emisie a gazelor cu efect de seră în atmosferă. Dioxidul de carbon este gazul cu cea mai mare pondere dintre aceste gaze cu efect de seră. Creșterea concentrațiilor atmosferice de carbon (CO_2) la rate tot mai mari odată cu revoluția industrială se datorează activităților antropogenice (umane).

După oceane, ecosistemele terestre sunt cele mai mari zone de stocare a carbonului. Solul este cea mai mare rezervă de carbon din biosfera terestră care stochează de trei ori mai mult carbon decât cel existent în atmosferă. Chiar și cea mai mică modificare a carbonului din sol afectează carbonul atmosferic deoarece există un flux constant între acesta și atmosferă. În funcție de diferențele dintre categoriile de folosință a terenurilor, există și diferențe între stocurile de carbon ale acestora. Atunci când direcția acestei schimbări de destinație a terenurilor duce la schimbarea fluxului de la sol la atmosferă, cantitatea de gaze cu efect de seră în atmosferă crește.

Schimbarea categoriei de folosință a terenurilor și modificările în acoperirea suprafeței terestre cu plante pot contribui la schimbările climatice prin modificarea echilibrului energetic mondial, precum și prin determinarea unor schimbări climatice [1]. În timp ce mai mult de jumătate din schimbările terestre apar în directă legătură cu activitățile umane, partea rămasă este asociată cu factori indirecți precum schimbările climatice. Modificările induse de om în acoperirea suprafeței terestre sunt de mare importanță pentru structura și funcția ecosistemelor, dar la fel de importante și pentru furnizarea hranei și adăpostului pentru oameni. În acest modul este examinată interacțiunea dintre modificările în utilizarea terenurilor și schimbările climatice.

Efectele schimbării categoriei de folosință a terenurilor asupra sechestrării carbonului

Există incertitudine cu privire la modul exact în care terenurile sunt utilizate pe glob. Pe de altă parte, este un fapt cunoscut că aceste terenuri sunt în mod constant transformate. Există 13 miliarde de hectare de teren non-glaciar în întreaga lume, din care o treime (4,3 miliarde de hectare) constă în pășuni permanente și terenuri agricole [2]. Distribuția zonelor terestre non-glaciare din lume este rezumată în Figura 1.

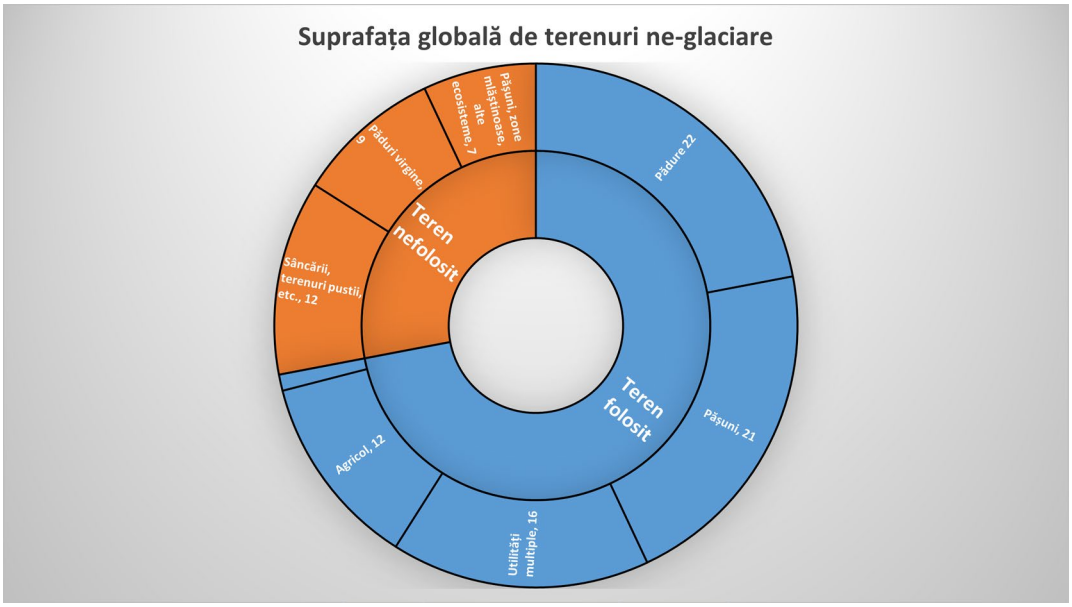


Figura 1. Estimarea utilizării globale a terenurilor ne-glaciare (adaptare după Breewood și Garnett 2020 [2])

Este bine cunoscut faptul că schimbările stratului care acoperă suprafața terestră pot modifica cantitatea de carbon stocată în sol și, ca urmare, este afectat și carbonul atmosferic. Cu toate acestea, un număr mare de studii care examinează schimbările categoriilor de folosință a terenurilor și stocurile de carbon din sol au arătat că pot exista dezacorduri semnificative cu privire la direcția și magnitudinea schimbărilor care apar ca rezultat al unor modificări ale categoriei de folosință a trenurilor.

În natură, trecerea de la un ecosistem la altul poate avea loc spontan, însă în cea mai mare parte a modificărilor are loc ca urmare a activităților umane. Fiecare sol are o capacitate de transport a carbonului și un conținut de carbon de echilibru în funcție de tipul de plante care cresc pe acesta precum și de caracteristicile climatice ale regiunii [3]. În schimbările categoriei de utilizare a terenului, există diferențe între aportul și pierderile de carbon la nivelul solului care perturbă acest echilibru. La finalul procesului, stocurile de carbon din sol se modifică fie solul fiind sursă, fie depozit de carbon. Există multe studii pe acest subiect.

Într-un articol analizând o parte din aceste studii bazat pe sinteza a 103 publicații noi din 29 de țări, Deng și colaboratorii, [4], au încercat să dezvăluie efectele schimbărilor categoriilor de folosință a terenurilor asupra stocurilor de carbon din sol. Printre concluzii s-a arătat că, în medie, schimbare categoriei de utilizare a terenurilor a redus semnificativ stocurile de carbon din sol (0,39 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$). Alte rezultate găsite de cercetători sunt rezumate în Tabelul 1. În timp ce stocurile de carbon din sol au crescut în tranziția de la terenuri agricole și zone forestiere la pajiști, depozitele de carbon s-au redus în zonele transformate din pășuni și păduri în terenuri agricole. De asemenea, se menționează că stocurile de carbon scad în locurile în care există o tranziție de la pădure la pădure. Cu toate acestea, cercetătorii au raportat că nu au existat schimbări în stocurile de carbon din sol în zonele transformate din terenuri agricole și pajiști în pădure. În plus, rezultatele aceluiași studiu menționează că schimbările în stocurile de carbon fluctuează în timp din cauza modificării utilizării terenurilor.

Tabelul 1. Efectele schimbării destinației terenurilor asupra stocării carbonului

Schimbarea utilizării	**Cantitatea de carbon stocată în sol ($Mg\ C \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)**
De la agricol la pajiște	+0,30
De la pădure la pajiște	+0,68
De la pajiște la teren agricol	-0,89
De la pădure la teren agricol	-1,74
De la pădure la pădure	-0,63
De la teren agricol la pădure	Nicio diferență
De la pajiște la pădure	Nicio diferență
General	-0,39

Într-un studiu similar, Dawson și Smith [5] au făcut o comparație a rezultatelor mai multor cercetări și au subliniat în concluziile lor că conținutul de carbon din sol a scăzut odată cu conversia pământurilor forestiere și pășunilor în terenuri agricole, în timp ce creșteri ale carbonului au fost observate în cazul opus. Rezumatul rezultatelor prezentate de acești cercetători din datele obținute sunt prezentate în Tabelul 2.

Așa cum se poate vedea din aceste date, pădurile și pajiștile au o importanță vitală atunci când vine vorba de stocarea carbonului. Considerând zona pe care acestea o acoperă pe glob, putem spune că acestea au un rol esențial în reducerea emisiilor prin asigurarea sechestrării carbonului în ciclul global al acestuia.

Tabelul 2. Modificări potențiale ale stocurilor de carbon din sol datorită modificării utilității acestora (adaptare după Dawson și Smith (2007) [5]. Valorile pozitive reprezintă creșteri pe când cele negative indică scăderi ale stocurilor de carbon.)

Schimbarea utilizării	**Cantitatea netă de carbon ($T\ C \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)**
Temporar din arabil în pășune (rotație)	1,6
Din arabil în pășune (35 ani)	0,63
Din arabil în pășune (permanent)	0,27
Din arabil în pădure	0,6-2,8
Din arabil în pădure (25 ani)	0,3-0,6
Din cultură permanentă în arabil	0,27
Din pășune în arabil	-1,0 to -1,7
Din pășune în arabil (20 ani)	-0,95±0,3
Din pășune în teren împădurit (90 ani)	0,1±0,02
Din stepă în pășune	-0,9 to -1,1
Din pădure în teren arabil	-0,6
Din pădure în pășune	-0,1±0,1
Din vegetație naturală în pășune	0,35
Din vegetație naturală în teren arabil	-2,2 to -5,4
Din mlaștină în pământ arabil	-1,0 to -19

Efectele schimbării categoriei de folosință a terenurilor în pășuni

Pajiștile sunt de importanță vitală pentru lume din punct de vedere al biodiversității lor și capacitatea de a preveni eroziunea. În plus, ele se numără printre cele mai importante puțuri de carbon terestre. Zonele de pășune-pajiște sunt unul dintre principalele componente ale ciclului global al carbonului și se estimează că rețin aproximativ 0,5 Pg CO_2 anual, deși există incertitudini în ceea ce privește eficiența și durata ciclului [6]. S-a raportat că stocul de carbon din sol este de 634 Pg, cantitate care cuprinde și vegetația de pe pajiștile și pășunile situate în regiunile climatice tropicale și temperate din întreaga lume [7]. Pajiștile, care sunt un puț important de carbon, au un rol vital în reducerea efectelor schimbărilor climatice.

Transformarea pajiștilor în terenuri agricole este una dintre cele mai mari schimbări de folosință terenurilor, accelerând atât eroziunea solului, cât și pierderea carbonului organic din sol. Deoarece carbonul din sol poate fi eliberat mai ușor în zonele de pajişti care au fost transformate în terenuri arabile, acest lucru cauzează o creștere a carbonului atmosferic. Cu toate acestea, există prea multe variabile care afectează pierderea de carbon organic în astfel de transformări. Într-un studiu care a încercat să dezvăluie efectele schimbărilor categoriilor de folosință a terenurilor asupra stocurilor de carbon din sol printr-o meta-analiză, stocurile de carbon din sol au scăzut cu 10% când s-au transformat de la pajiște la plantație, în timp ce această pierdere a fost de 59% în conversia de la pajiște la câmp agricol. În plus, carbonul organic din sol a crescut cu 8% în zonele transformate de la pădure naturală la pajiște și cu 19% în zonele transformate de la câmp la pajiște [8].

Într-un alt studiu de meta-analiză efectuat prin examinarea a 81 de eșantioane, s-a menționat că carbonul organic din sol a scăzut după transformarea zonelor de pajiște, această scădere având loc la o adâncime a solului de 0-60 cm, la adâncimi mai mari neînregistrându-se nicio modificare [9]. Aceiași cercetători au subliniat că scăderea carbonului organic din sol continuă în timp și atinge un echilibru la

sfârșitul unei perioade de 20 de ani. În urma studiului, s-a menționat că pierderea de carbon organic are loc în principal ca urmare a precipitațiilor, modificărilor proprietăților fizice și chimice ale solului și microbiotei acestuia.

În afară de pierderea directă a terenurilor de pășune, este o situație foarte comună în lume ca acestea să-și piardă productivitatea, în special din cauza practicilor greșite. Stocurile naturale de carbon din sol scad în mod natural în zonele afectate în acest fel. Practica cea mai distructivă în acest sens este pășunatul necorespunzător. Observațiile satelitare efectuate în Mongolia, una dintre țările cu cele mai mari pajiști din lume, au arătat că au avut loc pierderi semnificative de biomasă de-a lungul timpului. Scăderea biomasă de aproximativ 60%, ca rezultat al observațiilor făcute pe o perioadă de 21 de ani în aproape întreaga regiune de stepă a țării, este asociată cu scăderea precipitațiilor și creșterea temperaturii, precum și cu creșterea producției de capre din cauza cererii de produse de casmir în țară și pășunatul excesiv rezultat [10].

Va fi posibil să se crească productivitatea în aceste zone cu gestionarea corectă a pășunilor pentru a proteja și îmbunătăți pajiștile. Acest lucru va provoca o creștere a stocurilor de carbon ale pajiștilor, care sunt puțuri de carbon importante. În urma unei examinări făcute pe datele obținute ca rezultat al multor cercetări, s-a afirmat că o creștere a nivelurilor de C cuprinse între 0,105 și 1 Mg per hectar se realizează anual cu o gestionare îmbunătățită a pășunilor, fertilizarea în zonele de pășune șiroase, îmbogățirea pășunilor cu specii leguminoase și irigații [11].

Pășunatul intens crește conținutul de carbon organic din sol cu 6-7% în pajiștile mixte de tip C4 - C3 dominate de plante C4, în timp ce conținutul de carbon organic din sol în pajiștile dominate de plante C3 a arătat o scădere medie de 18% [12]. Cercetătorii au subliniat că pajiștile dominante C3 și C4 prezintă diferențe atât de mari în conținutul de carbon organic din sol legate de pășunat, încât accentul ar trebui să fie pus pe acest aspect.

Pentru a evalua potențialul de stocare a carbonului din soluri, s-au evaluat efectele globale ale practicilor îmbunătățite de gestionare a pășunilor și conversia terenurilor în pășuni prin analizarea rezultatelor a 115 studii [13]. Conform rezultatelor, printre practicile îmbunătățite de gestionare a pășunilor au fost analizate metode precum fertilizarea, gestionarea îmbunătățită a pășunilor, conversia terenurilor arabile în pășuni, utilizarea vegetației naturale, semănatul de leguminoase, irigațiile și încorporarea râmelor, și s-a constatat că conținutul de C din sol a crescut cu gestionarea îmbunătățită în 74% din studii. În timp ce ratele de creștere a sechestrării carbonului au continuat timp de 40 de ani, acestea au fost în general cele mai mari la adâncimea de 10 cm în sol. Ratele de retenție a C în funcție de tipul de remediere variază de la 0,11 la 3,04 $Mg \cdot C \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$, cu o medie de 0,54 $Mg \cdot C \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$.

Efectele diferențelor de utilizare a terenurilor în stocurile de carbon în zonele forestiere

Pădurile sunt unul dintre cele mai importante rezervoare de carbon din ecosistemele terestre, atât în ceea ce privește solul, cât și biomasa. La nivel global, aproximativ jumătate din carbonul reținut pe uscat se găsește în păduri (1146×10^{15} g), în timp ce 2/3 din această cantitate este reținută în rezervoarele de sol [14]. Solurile contribuie la sechestrarea netă de carbon la nivel global, deoarece cantitatea de carbon care intră anual în sol prin descompunere (61.4×10^{15}g) depășește ușor cantitatea eliberată prin respirație (60×10^{15} g) [15].

Deși sechestrarea carbonului în sol este un fenomen important în ceea ce privește ciclul global al carbonului, pădurile sunt utilizate și în alte scopuri decât acesta. În prezent, silvicultura este un sector industrial important, fiind de așteptat ca să apară schimbări în rezervoarele de carbon ale pădurilor în funcție de diferitele practici forestiere. Printre acestea se numără tăierea și spațierea arborilor.

Într-o meta-analiză în care au fost analizate și evaluate datele din 432 de locații la nivel global, s-a afirmat că ar putea exista o scădere de 8 ± 3% a carbonului din sol după tăiere, iar această scădere este de așteptat să fie de 30 ± 6% în stratul de frunze [16]. În studiu, s-a menționat că scăderea cantității de carbon ar putea fi diferită în funcție de specia de copaci, în speciile de conifere și rășinoase scăderea fiind a fost în jur de 20%, în timp la foioase a fost în jur de 36%. Cercetătorii au mai afirmat că reducerea carbonului din sol poate varia și în funcție de clasa de sol. În timp ce nu s-a observat nicio schimbare semnificativă în solurile cu conținut scăzut de materie organică, s-a afirmat că scăderea a fost considerabil semnificativă în solurile cu un conținut ridicat de materie organică. De exemplu, în timp ce schimbarea în alfisoluri și spodosoluri nu a fost semnificativă, scăderea conținutului de carbon din sol în inseptisoli și ultisoli a fost de 13% și, respectiv, 7%.

Dispariția zonelor forestiere determină transformarea în surse de carbon a acestor zone, care acționează ca un rezervor de carbon. Anual apar emisii de 2,1 miliarde de tone de CO_2 datorită degradării pădurilor tropicale, din care 53% se datorează producției de lemn, 30% lemnelor de foc și 17% incendiilor de pădure [17].

Într-un studiu efectuat pentru a măsura schimbările nete anuale din ultimii 12 ani (2003 - 2014) în densitatea de carbon deasupra solului reprezentând vegetația din pădurile tropicale ale lumii s-au folosind datele culese prin satelit MODIS, menționându-se că pădurile tropicale ale lumii sunt surse de carbon cu emisii nete anuale de 425,2 ± 92,0 Tg [18]. În studiu, emisia netă de carbon a fost evaluată la 861,7 ± 80,2 $Tg \cdot C \cdot an^{-1}$, în timp ce câștigul a fost calculat la 436,5 ± 31,0 $Tg \cdot C \cdot an^{-1}$. Cercetătorii au stabilit că creșterea resurselor de carbon obținută se datorează creșterii pădurilor, în timp ce pierderile se datorează defrișării și scăderii ulterioare a densității de carbon în pădurile rămase. Datele obținute în studiu sunt prezentate în Tabelul 3 pentru cele trei continente unde sunt prezente aceste păduri.

Tabelul 3. Modificări în stocurile de carbon deasupra solului (Tg C an^{-1}) în pădurile tropicale de pe glob.

Regiune	**Pierderi**	**Creșteri**	**Net**
America	516,0±69,5	191,2±18,2	324,8±73,5
Africa	205,0±24,7	132,9±19,3	72,1±32,9
Asia	140,7±17,9	112,4±10,3	28,2±21,5
TOTAL	861,7±80,2	436,5±31,0	425,2±92,0

În zonele forestiere, modificările stocurilor de carbon organic din sol în funcție de schimbările categoriilor de folosință a terenului sunt inevitabile. Cu toate acestea, există mulți factori care afectează stocurile de carbon organic din sol. De exemplu, într-un studiu care a examinat efectele conversiei de la silvicultură la plantație, s-a raportat că există o schimbare foarte mică în stocurile de carbon din sol într-o pădure cu specii foioase, în timp ce reducerea stocurilor de carbon a ajuns la 15% într-o zonă transformată din specii rășinoase [8]. Modificările stocurilor de carbon au fost afectate și de intensitatea precipitațiilor, pierderi de până la 56% fiind înregistrate în zonele cu precipitații de peste 1500 mm. Pierderea carbonului solului în zonele transformate din pădure în plantație a continuat pe parcursul procesului și s-a constatat că este de 20% stabilizându-se după al patruzecilea an. În rezultatele aceluiași studiu, s-a menționat că pierderea carbonului organic din solurile transformate din pădure în terenuri agricole a fost de 42%, aceasta producându-se în primii 60 cm ai solului.

Într-un alt studiu care a examinat efectul conversiei zonelor agricole în zone forestiere, pinul a fost plantat în zonele anterior cultivate cu cereale și viță de vie. Rezultatele, în care stocarea carbonului în sol a fost determinată prin modelare, au fost împărtășite prin stabilirea plantațiilor de pin [19]. În timp ce s-a raportat că acumularea materiei organice a avut loc în principal în straturile superficiale ale

solului, în timpul împăduririi, acumularea anuală de carbon pe metru pătrat a fost de 19 g în zonele cultivate cu viță de vie și 41 g în zonele cultivate cu cereale.

Zonele de mangrove, care constau din arbori și arbuști în zonele de coastă, sunt rezervoare de carbon importante pentru lume, cu un potențial de stocare a carbonului de până la 25,5 milioane de tone pe an [20], și sunt și ele în scădere constantă. Se estimează că între 0,15 și 1,02 miliarde de tone de carbon sunt emise anual din cauza degradării mangrovelor, mlaștinilor și algelor [21].

Modificarea stocurilor de carbon datorită urbanizării

Datorită urbanizării în creștere, se observă schimbări în acoperișul terenului și, ca rezultat, există pierderi semnificative în rezervele terestre de carbon. Mai ales în zonele mai puțin afectate de expansiunea urbană, pierderile de habitate ating niveluri mai ridicate. Este clar că în ultimii ani s-a înregistrat o urbanizare rapidă la nivel global.

Un studiu a evaluat efectele terenurilor urbanizate asupra dinamicii carbonului în America de Sud pe o perioadă de 63 de ani între 1945 și 2007, utilizând un model dinamic bazat pe procese. În acest studiu s-a calculat că emisia de carbon în atmosferă a fost de 0,21 Pg în această perioadă datorită urbanizării [22]. Potrivit cercetătorilor, tipul vegetației terestre care exista înainte de urbanizare și timpul scurs de la transformarea terenului determină amploarea efectelor urbanizării asupra dinamicii carbonului. După declinul rapid al stocării de carbon în timpul schimbării categoriei de folosință a terenurilor, un ecosistem urban va acumula treptat carbon putând compensa pierderea inițială de carbon în 70-100 de ani. Potrivit cercetătorilor, rata de sechestrare a carbonului a ecosistemului urban scade în timp și aproape că dispare după două secole.

Într-un alt studiu care a încercat să determine efectul urbanizării rapide asupra resurselor terestre de carbon, a fost analizat efectul schimbării categoriilor de folosință a terenurilor asupra rezervoarelor de carbon și emisiilor între 2000 și 2012 în Guangzhou, China [23]. Urbanizarea în orașul Guangzhou a crescut cu 119% în perioada de studiu, iar emisiile de carbon au depășit semnificativ capacitatea de absorbție a carbonului. În timp ce scăderea totală a rezervorului de carbon a fost de 30%, emisiile totale de carbon au crescut de la $13,73 \times 10^6$ tone la $39,67 \times 10^6$ tone. Cercetătorii au avertizat că politicile statale ar trebui stabili "limita de creștere urbană" și "liniile roșii ecologice" în utilizarea terenului pentru a asigura utilizarea economică a acestuia.

Emisia de carbon în atmosferă din oceane și ecosistemele terestre a devenit o problemă foarte importantă astăzi. Utilizarea terenului este de o importanță majoră în ceea ce privește sechestrarea carbonului în soluri. Pășunile și pădurile au în general un potențial mai mare de sechestrare a carbonului decât terenurile arabile. Evitarea schimbării categoriei de utilizare a terenurilor în cazul în care această schimbare duce la creșterea emisiile nete de carbon în zonele terestre va deveni din ce în ce mai necesară pentru a limita procesul de încălzire globală.

Bibliografie

1. Song, XP., Hansen, MC, Stehman, SV et al. (2018). Global land change from 1982 to 2016. Nature 560, 639–643. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9
2. Breewood, H. & Garnett, T. (2020). What is feed food competition? (Foodsource: building blocks). Food Climate Research Network, University of Oxford DOI: 10.13140/RG.2.2.32463.64161
3. Jobbágy, EG ., & Jackson, RB, (2000). the vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecol. Appl. 10, 423–436.
4. Deng, L. , Zhu, G., Tang, Z., & Shangguan, Z. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stock - Global Ecology and Conservation, 5, 127–138. doi:10.1016/j.gecco.2015.12.004
5. Dawson, JJ C., & Smith, P. (2007). Carbon loss from soil and its consequences for land use management. Science of The Total Environment, 382(2-3), 165–190. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.03.
6. Kalonia, HD ., (2022). The Importance of Pasturelands in Climate Change Mitigation and Adaptation Processes, Journal of Environment, City and Climate. Year: 1. Issue: 1. ss. 128-157.
7. Janzen, H.H. , (2004). Carbon cycling in the earth systems -a soil science perspective, Agriculture, Ecosystems and Environment 104:399-417
8. Guo, L. B., & Gifford, RM (2002). Soil carbon stock and land use change: a meta-analysis. Global Change Biology, 8(4), 345–360. doi:10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x
9. Tang, S. , Guo, J., Li, S., Li, J., Xie, S., Zhai, X., Wang, K. (2019). Synthesis of soil carbon losses in response to conversion of grassland to agriculture land - Soil and Tillage Research, 185, 29–35. doi:10.1016/j.still.2018.08.011
10. Liu YY, Evans JP, McCabe MF, de Jeu RAM, van Dijk AIJM, et al. (2013) Changing Climate and Overgrazing are Decimating Mongolian Steppe - PLOS ONE 8(2): e57599. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057599
11. Conant, R. T., Cerri, CEP, Osborne, BB, & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis - Ecological Applications, 27(2), 662–668. doi:10.1002/eap.1473
12. McSherry, M. E., & Ritchie, ME (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review: Global Change Biology, 19(5), 1347–1357. doi:10.1111/gcb.12144
13. Conant, R.T. , Paustian, K., & Elliott, ET (2001). Grassland Management and Conversion Into Grassland: Effects On Soil carbon - Ecological Applications, 11(2), 343–355. doi:10.1890/1051-0761(2001)011
14. Dixon, RK ., Brown, S., Houghton, RA, Solomon, AM, Trexler, MC, & Wisniewski, J., (1994). carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263, 185–190.
15. Schimel , DS (1995). terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Global Change Biology 1, 77–91.
16. Nave, L.E., Vance, ED, Swanston, CW, & Curtis, PS (2010). Harvest impacts on soil carbon storage in temperature forest - Forest Ecology and Management, 259(5), 857–866. doi:10.1016/j.foreco.2009.12.009
17. Pearson, TRH ., Brown, S., Murray, L., & Sidman, G., (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. Carbon Balance and Management volume 12, Article number : 3 (2017)
18. Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, RA (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. Science, 358(6360), 230–234. doi:10.1126/science.aam5962

19. Romania, J., Cortina, J., Falloon, P., Coleman, K., & Smith, P. (2000). Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing pinus radiata on Mediterranean agricultural soils. european Journal of Soil Science, 51, 627–641.
20. Ong, JE (1993) Mangroves – a carbon source and sink. Chemosphere 27: 1097–1107.
21. Pendleton, L., Donato, DC, Murray, BC, Crooks, S., Jenkins, WA, Sifleet, S., et al. (2012) Estimating Global "Blue Carbon " Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542
22. Zhang , C. , Tian , H., Chen , G., Chappelka , A., Xu , X., Ren, W., … Lockaby , G. (2012). Impacts of urbanization on carbon balance in terrestrial ecosystems of the Southern United States. Environmental Pollution, 164, 89–101. doi:10.1016/j.envpol.2012.01.020
23. Xu , Q. , Yang , R., Dong , Y.-X., Liu , Y.-X., & Qiu , L.-R. (2016). the influence of rapid urbanization and land use changes on terrestrial carbon sources/sinks in Guangzhou, China. Ecological Indicators, 70, 304–316. doi:10.1016/j.ecolind.2016.05.05

Efectul proprietăților solului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră

Creșterea populației și, concomitent, a cererii pentru hrană și energie au adus probleme importante de mediu. Încălzirea globală, care apare odată cu creșterea emisie gazelor cu efect de seră în atmosferă, este una dintre aceste probleme. Deși creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră în atmosfera lumii se datorează în mare parte activităților din sectorul energetic, există și emisii semnificative în atmosferă legate de agricultură, silvicultură și utilizarea terenurilor. Emisiile rezultate din activitățile agricole sunt sub formă de CO_2, CH_4 și N_2O.

Odată cu intensificarea agriculturii, solurile au devenit una dintre principalele surse de CO_2 atmosferic și alte gaze cu efect de seră. Se estimează că emisia de gaze cu efect de seră din sol în atmosferă începând cu revoluția industrială este de 78 ± 12 Pg·CO_2-C [1].

Cu toate acestea, ecosistemele terestre se află în poziția unui rezervor în ceea ce privește carbonul, deoarece carbonul poate fi reținut atât în biomasa cât și direct în sol. Emisiile din soluri în atmosferă și reținerea carbonului în sol și biomasă pot fi afectate de unele proprietăți ale solului.

Emisia de gaze cu efect de seră asupra conținutului de carbon organic din sol

Una dintre cele mai importante probleme întâlnite în multe domenii ale agriculturii este nivelul scăzut al materiei organice din sol, care este unul dintre principalele componente ale agriculturii durabile. În zonele cu agricultură intensivă, există o scădere a conținutului de materie organică din sol în timp din cauza unor motive precum cultivarea unei singure culturi, lucrările excesive de arătură, arderea resturilor de plante rămase. Creșterea conținutului de carbon în zonele agricole poate spori fertilitatea solului și biodiversitatea și astfel poate contribui la atenuarea schimbărilor climatice prin sechestrarea carbonului din atmosferă [2].

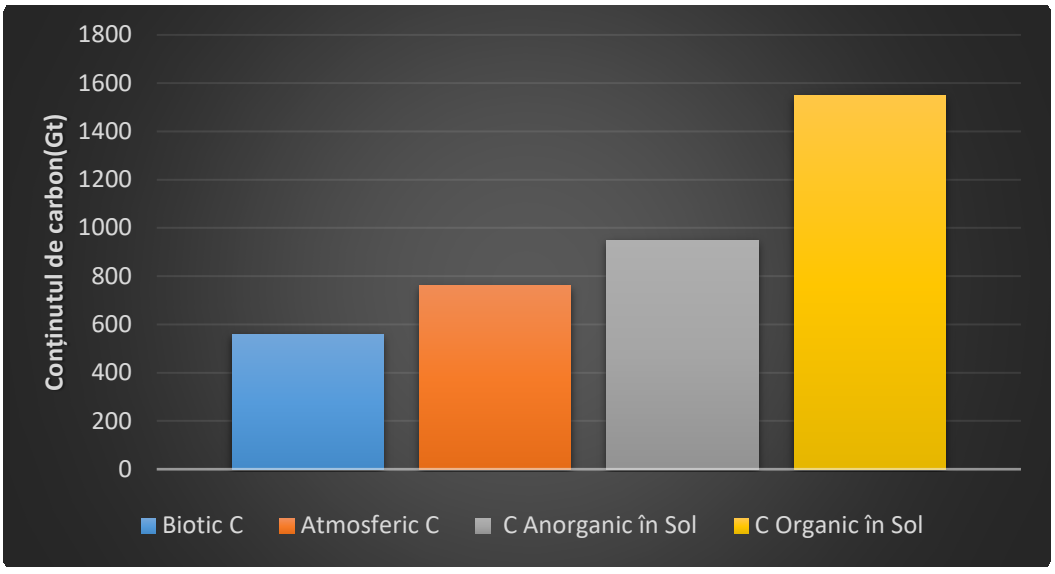


Figura 1. Conținutul de carbon din sol, atmosferă și biotă (adaptat după Lal, 2004 [34]).

Adăugarea diverselor materiale organice în sol și recuperarea carbonului pierdut este una dintre practicile recomandate pentru îmbunătățirea proprietăților solului și chiar pentru combaterea schimbărilor climatice. Cu toate acestea, adăugarea acestor materiale în sol poate facilita eliberarea de CO_2. Din acest motiv, este important să știm care este efectul materialului organic adăugat în sol, să cunoaștem capacitatea solului de reținere a carbonului și să cunoaștem starea echilibrului a carbonului în sol pe termen scurt și lung după aplicare. Prin urmare, pe termen lung un obiectiv ar trebui să fie creșterea materiei organice stabile biologic în solîn conformitate cu condițiile de mediu [3].

Carbonul organic din sol este o componentă importantă a ciclului global al carbonului (Figura 1), iar prezența sa în soluri va avea un impact semnificativ asupra climatului global cu care interacționează în viitor [4]. Acest efect este complex și poate diferi în funcție de proprietățile solului. De exemplu, deoarece activitatea microbiană va fi mai mare în solurile cu temperaturi ridicate, descompunerea materiei organice este accelerată ceea ce duce la o creștere a emisiilor de CO_2 și CH_4 în atmosferă. Pe de altă parte, sechestrarea crescută a carbonului poate încuraja o vegetație mai bogată.

Stocarea carbonului și condițiile de sol

Creșterea conținutului de materie organică prin adăugarea de material organic în sol poate varia în funcție de proprietățile solului și de tipul de material, în afară de cantitatea de material adăugat. Adăugarea materiei organice în soluri nu înseamnă întotdeauna că carbonul este stocat în sol. De exemplu, solurile pajiștilor și pădurilor cu condiții bune de drenaj pot stoca cantități semnificative de carbon, în timp ce terenurile arabile pot fi o sursă de carbon [32, 33].

Capacitățile solurilor de stocare a carbonului nu sunt nelimitate și pot diferi în funcție de tipul solului. În solurile minerale, prezența particulelor de argilă și silte mărește stabilitatea carbonului organic din sol prin adsorbție, dar cantitatea acestuia este limitată [6].

Mărimea agregatelor solului și emisiile de gaze cu efect de seră

În funcție de dimensiunea agregatelor din sol, pot exista diferențe în transportul și emisiile de gaze. Într-un studiu realizat în acest scop, s-au comparat efectele dimensiunii agregatelor de sol asupra emisiilor de gaze cu efect de seră în două soluri cu textură nisipoasă și lutoasă [7]. Soluri cu dimensiuni de agregate mai mici de 0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm și 2-4 mm au fost utilizate în studiu. Conform rezultatelor obținute, dimensiunile porilor au afectat semnificativ eliberarea de CO_2 și CH_4 din sol, dar nu au prezentat niciun efect asupra eliberării de N_2O. Cea mai mare emisie de CO_2 a avut loc în solul cu textură lutoasă cu cea mai mică dimensiune a agregatelor. Pe de altă parte, în solurile cu textură nisipoasă, cea mai mare eliberare de CO_2 a avut loc în solurile cu cea mai mare dimensiune a agregatelor. În studiu, s-a raportat că există un flux crescut de CH_4 în solurile cu agregate mici. Ca rezultat al studiului, cercetătorii au declarat că practicile de lucrare a solului, care afectează în mare măsură proprietățile porilor solului, pot avea un efect direct asupra emisiilor de gaze cu efect de seră. S-a raportat că emisia de CO_2 scade odată cu creșterea dimensiunii agregatelor într-un sol cu textură lutoasă [8], în timp ce eliberarea de CH_4 este mai mare în solurile cu dimensiuni mici ale agregatelor [9].

pH-ul solului și emisiile de gaze cu efect de seră

Nivelul de pH al solului reprezintă cantitatea de ioni H^+ din soluția solului care se află în echilibru dinamic cu o fază solidă încărcată negativ. Ioni H^+, care sunt atrași puternic de suprafețele solide încărcate negativ, pot înlocui alți cationi prezenți. pH-ul, care este strâns legat de procesele biochimice ale solului și plantelor, reprezintă de fapt pH-ul soluției solului [10].

Există diferite idei legate de pH-ul solului referitoare la emisiile de gaze cu efect de seră. pH-ul, care are un efect important asupra proprietăților fizice, chimice și biologice ale solului, afectează inevitabil și fluxul de carbon din sol [11]. Solurile alcaline au un conținut semnificativ mai mare de CO_2 iar carbonul organic din aceste soluri nu este foarte stabil chimic pentru mineralizare. Adăugarea de agenți pe bază de calciu în sol poate modifica concentrațiile de carbon organic solubil și poate stimula o mineralizare limitată a carbonului organic din sol [12].

Într-un studiu cu soluri de pădure tropicală acide, pH-ul solului a fost crescut de la 3,9 la 5,7 prin adăugarea de $Ca(OH)_2$ și $CaSO_4$, iar ca rezultat, s-a obținut că mineralizarea carbonului din îngrășămintele organice a fost intensă [13]. Contrar acestor rezultate raportate, într-un alt studiu s-a

constatat că respirația solului a scăzut și s-a intensificat acumularea de carbon organic în sol datorită creșterii pH-ului ca urmare a adiției de calciu în solurile organice ale tundrei [14]. Cercetătorii au declarat că ar trebui efectuate mai multe studii în ecosistemele naturale pentru a elucida efectul modificărilor de pH induse de calciu asupra carbonului organic din sol.

Într-un studiu care a examinat efectele pe termen lung ale pH-ului solului asupra emisiilor de CO_2, au fost efectuate măsurători ale emisiilor în soluri cu valori de pH de 3,65, 5,00, 6,90 și 8,55 [15]. În studiu, terenurile pe care nu s-a aplicat îngrășământ azotat și cele pe care fertilizarea s-a făcut sub formă de nitrat și amoniu au fost combinate cu parcele la diferite valori de pH. Conform rezultatelor obținute, emisiile de CO_2 nu au fost afectate de fertilizarea cu amoniu și nitrat la diferite valori de pH ale solului. În cazul aplicării de îngrășăminte azotate, cantitatea de carbon organic dizolvat a scăzut la toate valorile pH-ului. Cercetătorii au raportat că creșterea pH-ului și fertilizarea cu azot cresc emisiile de CO_2, respirația microbiană heterotrofă în sol joacând un rol dominant în emisiile de CO_2.

Umiditatea solului și eliberarea de gaze cu efect de seră din sol

În timp ce creșterea plantelor în zonele neirigate este limitată de umiditatea disponibilă a solului,în cazul folosirii sistemelor de irigații apare o creștere a părților aeriene și dezvoltarea rădăcinilor plantelor. Această situație duce la intensificarea stocării de carbon în sol. Prin fertilizarea și irigarea terenurilor arabile și a pajiștilor, intrarea de carbon în sol este crescută. Odată cu creșterea umidității solului, activitatea microbiană crește și ea. Ca rezultat al atât creșterii biomasei, a intrării carbonului în sol și a creșterii activității microbiene, procesul de descompunere a carbonului organic în sol se intensifică, crescând și eliberarea de CO_2 din sol [16].

Într-un studiu care a examinat efectul irigației restricționate asupra emisiilor de gaze cu efect de seră în anii în care s-a utilizat un sistem de irigație prin picurare, cele mai mari valori de emisie a CO_2-ului au fost obținute în zona intensiv irigaă, iar valorile de emisie măsurate după udări au fost mai mari decât valorile măsurate înainte de aplicarea udărilor [31]. Rezultate similare au fost obținute și în ceea ce privește valorile emisiilor de N_2O măsurate în studiu, cele mai mari valori fiind obținute pe terenul cu cea mai intensificată irigație. Valorile N_2O după udări au fost mai mari decât înainte de udări, așa cum au fost și valorile CO_2. Ca rezultat al studiului, cercetătorii au afirmat că practicile de irigație au dus la o creștere semnificativă a emisiilor de gaze cu efect de seră. Cu toate acestea, în aplicarea limitată a sistemelor de irigații s-a observat o emisie mai mică de CO_2 datorată încetinirii activităților microorganismelor [17].

În timp ce emisiile de gaze din sol sunt afectate de cantitatea de apă de utilizată la udări, pot exista schimbări în cantitatea de emisii legate de caracteristicile calitative ale apei utilizate în irigații. Valoarea salinității apei de irigație este un alt parametru care influențează ratele de emisie. Într-un studiu realizat cu ape de irigație cu diferite salinități, efectul sărurilor asupra mineralizării carbonului organic din sol a fost investigat prin monitorizarea cantității de CO_2 emise din sol [18]. Conform rezultatelor obținute, s-a observat că rata formării de CO_2-C a scăzut odată cu creșterea salinității apei de irigație. În plus, potrivit cercetătorilor, când sursa de sare este NaCl, scăderea mineralizării carbonului este mai mare decât în cazul $CaCl_2$ și $MgCl_2$.

Temperatura solului și emisiile de gaze cu efect de seră din sol

Temperatura solului poate fi un factor stimulator al emisiei de gaze cu efect de seră datorită efectelor sale asupra activității microbiene împreună cu umiditatea. În condiții favorabile de temperatură a solului, eliberarea de CO_2 crește datorită oxidării materiei organice [19]. O creștere a temperaturii solului accelerează descompunerea materiei organice, crește activitatea microbiană și stimulează creșterea rădăcinilor, accelerând astfel procesul de mineralizare a carbonului și emisiile de CO_2 [20].

Într-un studiu s-a investigat efectul temperaturii și umidității solului asupra concentrației de N_2O și CO_2 dintr-un sol organic de la două adâncimi diferite [21]. Conform rezultatelor obținute în studiu, concentrația de N_2O a crescut în paralel cu creșterea umidității solului la o adâncime de 10-30 cm. Concentrația de CO_2 în sol a crescut odată cu creșterea temperaturii solului. Această creștere s-a produs atât la o adâncime de 10-30 cm, cât și la o adâncime de 50-100 cm.

Similar, într-un alt studiu, s-a observat că emisia de CO_2 a crescut odată cu creșterea temperaturii solului, atingând o creștere de 59% [20].

Cu toate acestea, deoarece activitatea microbială în sol poate fi intensă între anumite valori de temperatură, s-a raportat că nu întotdeauna se poate obține o relație liniară între emisiile de CO_2 și temperatura solului [22].

Modificări ale emisiilor de gaze cu efect de seră legate de lucrările solului

În urma practicilor de lucrare a solului pot apărea schimbări semnificative în transferurile de gaze cu efect de seră între atmosferă și sol. Emisiile de gaze cu efect de seră rezultate din lucrările agricole pot fi cauzate direct de utilizarea combustibililor fosili consumați de vehiculele utilizate, precum și indirect de efectele pe care le are prelucrarea solului asupra proprietăților acestuia.

Deși efectele agriculturii cu puține lucrări (no-tillage), în special asupra controlului eroziunii, sunt acum considerate fundamentale, oamenii de știință continuând să discute eficacitatea practicilor no-tillage în reducerea emisiilor de CO_2. Trebuie remarcat faptul că în multe studii s-au obținut rezultate diferite în funcție de caracteristicile solului, de mediu și de timp.

Lucrarea solului poate afecta distribuția și conversia conținutului de carbon din sol prin deschiderea sau închiderea de noi canale de transfer între suprafața solului și atmosferă. În plus, modificările unor proprietăți ale solului, cum ar fi stabilitatea agregatelor, capacitatea de reținere a apei și temperatura pot schimba dinamica de descompunere a materiei organice ca urmare a lucrării solului [23].

Într-un studiu care viza determinarea posibilelor efecte ale practicilor de lucrare redusă a solului asupra emisiilor de CO_2 din soluri, au fost comparate patru condiții diferite [24]. Acestea sunt lucrarea solului cu plugul cultivator la o adâncime de 12 cm, alta la 5 cm, mulcirea paielor la suprafață și arătura clasică. Lucrarea solului cu plugul cultivator la o adâncime de 10-12 cm în perioada de vară a crescut emisia de CO_2 de aproximativ 2 ori comparativ cu celelalte situații. Această condiție de lucru a fost urmată de lucrarea superficială (la adâncime de 5 cm), mulcire și, respectiv, arătura clasică.

Într-un studiu care a comparat efectele semănatului direct cu lucrarea tradițională a solului asupra emisiilor de CO_2, au fost cultivate soia prin semănat direct versus cultivare prin lucrarea solului cu plugul cultivator, discul și cultivatorul, iar emisiile de CO_2 din sol au fost măsurate timp de 55 de zile. În urma studiului s-a constatat că cea mai redusă emisie a avut loc în cazul aplicației de semănat direct [25].

Prin intermediul unei meta-analize care a evaluat 56 de studii vizând emisiile de CO_2 direct din sol, s-a urmărit evaluarea stării emisiilor din practicile de lucrare a solului și fără lucrări [26]. Cercetătorii au rezumat concluziile lor astfel:

S-a constatat că emisiile de CO_2 din sol sunt aproape de două ori mai mari în primele ore după cultivare, comparativ cu cele din solurile necultivate. Variabilitatea emisiilor de CO_2 din sol a fost asociată mai degrabă cu textura solului, rotația culturilor, timpul și conținutul de carbon organic al solului decât cu practicile de cultivare. Reducerea emisiilor în cazul lucrărilor no-till a fost realizată în special în cazul solurilor cu textură argiloasă în care se realizează rotația culturilor, cu conținut scăzut de carbon și în condiții de climă aridă. Conform rezultatelor obținute de cercetători, efectul lucrărilor de semănat

direct asupra emisiilor de CO_2 este discutabil și că reducerea emisiilor are loc mai ales în anumite condiții de sol și de mediu.

Pentru a măsura și a evalua efectul asupra emisiilor de CO_2 din sol, au fost evaluate printr-o meta-analiză rezultatele a 46 de studii efectuate în diferite condiții climatice și pedologice, observându-se că efectul cultivării solului asupra emisiilor de CO_2 din sol a fost variabil [27]. Conform constatărilor obținute, cercetătorii au afirmat că, în medie, solurile cultivate emit cu 21% mai mult CO_2 decât solurile necultivate. S-a afirmat că această diferență crește până la 29% în cazul solurilor nisipoase, unde umiditatea solului și conținutul de carbon sunt scăzute în condiții de climă aridă. Cu toate acestea, s-a raportat, de asemenea, că nu există nicio diferență în ceea ce privește emisiile în funcție de tipul de lucrare a solului în cazul solurilor argiloase cu un conținut ridicat de carbon organic în sol. Potrivit cercetătorilor, s-a observat că agricultura fără lucrarea solului poate fi o măsură eficientă de reducere a emisiilor de CO_2 de pe soluri în condiții aride.

Mulcirea este una dintre aplicațiile eficiente asupra sechestrării carbonului, iar acest efect poate varia în funcție de proprietățile solului și de timpul de aplicare a materialului de mulcire. Mulcirea contribuie la reducerea efectelor negative ale schimbărilor climatice prin compensarea emisiilor de gaze cu efect de seră și prin creșterea sechestrării carbonului organic în sol [1]. Cu toate acestea, adăugarea continuă de reziduuri poate aduce solurile la nivelul de saturație a carbonului, ceea ce duce la o situație în care emisiile de gaze cu efect de seră din soluri depășesc cantitatea de carbon sechestrat [28].

Într-un studiu în care s-a comparat încorporarea reziduurilor vegetale în sol cu aplicarea mulciului, au fost folosite două tipuri diferite de sol și a fost monitorizat carbonul în stratul superior al solului [30]. Conform rezultatelor studiului desfășurat pe o perioadă de doi ani, încorporarea reziduurilor de porumb în solurile argiloase a cauzat o creștere a fluxului de CO_2 cu 38% comparativ cu mulcirea, această creștere fiind de 16% în solurile nisipoase. Umiditatea solului a fost menținută și descompunerea carbonului organic de pe suprafața solului a crescut atunci când s-a folosit mulcirea în solurile nisipoase. Prin urmare, cercetătorii au subliniat că pe termen lung mulcirea ar putea epuiza stocurile de carbon ale solului în zonele nisipoase.

Într-un alt studiu, paiele de grâu folosite ca material de mulci au fost aplicate în cantități de 0,8 și 16 Mg pe hectar în fiecare an [29]. În acest studiu, aplicarea a 244 kg de azot pe hectar și lipsa aplicării de azot au fost combinate cu aplicațiile de mulci. La sfârșitul celor 15 ani de încercări, au fost obținute constatări importante, dintre care unele sunt următoarele:

Cu aplicațiile de mulci pe termen lung, a existat o creștere a macroagregatelor, în special a celor mai mari de 250 µm, în sol. Această creștere s-a datorat în mare măsură aplicațiilor de mulci. Aceasta a cauzat acumularea unor concentrații ridicate de carbon și azot în macroagregate. În studiu, s-a menționat că carbonul din microagregate a fost relativ conservat, în timp ce carbonul din macroagregate și dintre microagregate nu a fost stabilizat și a fost predispus descompunerii microbiene. Creșterea concentrațiilor de carbon și azot din macroagregate a afectat semnificativ fluxurile de CO_2, CH_4 și N_2O și s-au măsurat valori mai mari ale emisiilor în aplicațiile de mulci. Comparativ cu controlul, concentrația de carbon organic din sol la o adâncime de 10 cm a crescut cu 32% și 90% cu aplicațiile de mulci de 8 și, respectiv, 16 Mg și a ajuns la capacitatea de carbon organic a solului după 15 ani de aplicații de mulci. În final, potențialul de încălzire globală a fost calculat în studiu și rezultatele sunt prezentate în Tabelul 2 ca echivalent de CO_2. Conform acestora, cu aplicarea anuală de 16 Mg de mulci, s-a realizat un flux mai mare de gaze cu efect de seră și a fost calculată cea mai mare valoare a potențialului net de încălzire globală.

Tabelul 2. Potențialul încălzirii globale calculat pentru o perioadă de un an (adaptat din Lenka & Lal, 2013 [29])

Cantitatea de mulci ($Mg.ha^{-1}.an^{-1}$)	Potențialul Încălzirii Globale ($Mg.ha^{-1}$ CO_2 –C echivalent)	Potențialul Net al Încălzirii Globale ($Mg.ha^{-1}$ CO_2 –C equivalent)
Fără aplicare de azot		
0	5.85	-
8	6.56	0.46
16	8.43	1.98
Cu aplicarea a 244 $kg.ha^{-1}$ N		
0	6.31	-
8	7.18	0.57
16	10.09	3.05

Bibliografie

1. Lal, R. (2011). Soil Health and Climate Change: An Overview. In: Singh, B., Cowie, A., Chan, K. (eds) Soil Health and Climate Change. Soil Biology, vol 29. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_1
2. Kavvadias, V., Papadopoulou, M., Vavoulidou, E., Theocharopoulos, S., Malliaraki, S., Agelaki, K., Psarras, G. (2018). Effects of Carbon Inputs on Chemical and Microbial Properties of Soil in Irrigated and Rainfed Olive Groves. Soil Management and Climate Change, 137–150. doi:10.1016/b978-0-12-812128-3.00010-0
3. Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Zorpas, A.A. (2021). The Increase of Soil Organic Matter Reduces Global Warming, Myth or Reality? Sci 2021, 3, 18. https:// doi.org/10.3390/sci3010018
4. Govers, G., Merckx, R., van Oost, K., van Wesemael, B. (2012). Soil Organic Carbon Management for Global Benefits: A Discussion Paper. In Proceedings of the Workshop organised by the Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environmental Facility 'Soil Organic Carbon Benefits: A Scoping Study', Nairobi, Kenia, 10–12
5. Lal, R., Negassa, W., Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. Curr. Opin. Environ. Sustain. 2015, 15, 79–86.
6. Ingram, J.S.I., Fernandes, E.C.M. (2001). Managing carbon sequestration in soils: Concepts and terminology. Agric. Ecosyst. Environ. 2001, 87, 111–117.
7. Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D. L., Sturrock, C. J. & Mooney, S. J. (2013). The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. Soil and Tillage Research, 132, 39–46. doi:10.1016/j.still.2013.05.003
8. Drury, C.F., Yang, X.M., Reynolds, W.D., Tan, C.S. (2004). Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. Soil and Tillage Research 79, 87–100
9. Kimura, S.D., Melling, L., Goh, K.J. (2012). Influence of soil aggregate size on greenhouse gas emission and uptake rate from tropical peat soil in forest and different oil palm development years. Geoderma 185–186, 1–5.
10. Rengel, Z. (2011). Soil pH, soil health and climate change. Soil health and climate change, 69-85.
11. Brady, N.C., Weil, R.R. (2002). The Nature and properties of soil, 13th ed. Springer Nehterlands, 2002, P249
12. Nambu, K., van Hees, P. A., Jones, D. L, Vinogradoff, S. & Lundström, U. S. (2008). Composition of organic solutes and respiration in soils derived from alkaline and non-alkaline parent materials. Geoderma, 144(3-4), 468-477.

13. Motavalli, P.P., Palm, C.A., Parton, W.J., Elliott, E.T., & Frey, S.D., (1995). Soil pH and organic C dynamics in tropical forest soils: Evidence from laboratory and simulation studies. Soil Biology and Biochemistry, 27(12), 1589–1599. doi:10.1016/0038-0717(95)00082-p
14. Hobbie, S.E., Gough, L. (2002). Foliar and soil nutrients in tundra on glacial landscapes of contrasting ages in northern Alaska. Oecologia 131, 453–462
15. Wang, L., Han, Z. & Zhang, X. (2010). Effects of soil pH on CO_2 emission from long-term fertilized black soils in Northeastern China. Sci Res, 2010, 58-61.
16. Entry, J. A., Mills, D., Mathee, K., Jayachandran, K., Sojka, R. E. & Narasimhan, G. (2008). Influence of irrigated agriculture on soil microbial diversity. Applied Soil Ecology, 40(1), 146–154. doi:10.1016/j.apsoil.2008.03.012
17. Sinaie, S., Sadeghi-Namaghi, H., Fekrat, L. (2019). Effects of Elevated CO_2 and Water Stress on Population Growth of The Two-spotted Spider Mite, Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychi-dae), on Sweet Pepper Under Environmentally Controlled Conditions. Journal of Asia-PacificEntomology, 2019; 22 (1), 96-102
18. Mancer, H. & Bouhoun, MD (2018). Effect of irrigation water salinity on the organic carbon mineralization in soil (laboratory incubation). In AIP Conference Proceedings (Vol. 1968, No. 1, p. 020007). AIP Publishing LLC.
19. Tüfenkçi, S., Native, C. & Cakmakci, T (2021). From Soil to CO_2 Release One view. Biosystem Engineering II (pp.117-128), Ankara: Academician bookstore.
20. Jabro, J. D., Sainju, U., Stevens, W. B. & Evans, R. G. (2008). Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. Journal of Environmental Management, 88(4), 1478–1484. doi:10.1016/j.jenvman.2007.07.012
21. Nosalewicz, M., Stępniewska, Z., Nosalewicz, A. (2013). Effect of soil moisture and temperature on N_2O and CO_2 concentrations in soil irrigated with purified wastewater. Int. Agrophys., 27(3), 299-304. https://doi.org/10.2478/v10247-012-0098-3
22. Gonzalez-Mendez, B., Webster, R., Fiedler, S., et al., (2015). Short-term Emissions of CO_2 and N_2O in Response to Periodic Flood Irrigation With Waste Water in The Mezquital Valley of Mexico. Atmospheric Environment, 2015; 101, 116-124
23. Lu, X., Lu, X., Tanveer, S. K., Wen, X., & Liao, Y. (2015). Effects of tillage management on soil CO_2 emission and wheat yield under rain-fed conditions. Soil Research, 54(1), 38-48.
24. Mühlbachová, G., Kusá, H., Růžek, P., Vavera. R. (2022). CO_2 emissions in a soil under different tillage practices. Plant Soil Environ.. 2022;68(6):253-261. doi: 10.17221/110/2022-PSE.
25. Akbolat, D., Barut, Z., Turgut, M. M. et al. (2016). Soil CO_2 Emissions Under Conventional and Conservational Tillage Methods in Soybean Cultivation in Cukurova Plain of Turkey. AgronomySeries, 2016; 59, 15-20
26. Bregaglio, S., Mongiano, G., Ferrara, R. M., Ginaldi, F., Lagomarsino, A. & Rana, G. (2022). Which are the most favourable conditions for reducing soil CO_2 emissions with no-tillage? Results from a meta-analysis. International soil and water conservation research, 10, 497-506. doi: 10.1016/j.iswcr.2022.05.003
27. Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P. & Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO_2 emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. Biogeosciences, 13(12), 3619–3633. doi:10.5194/bg-13-3619-2016
28. Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil 241, 155–176.
29. Lenka, N. K. & Lal, R. (2013). Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. Soil and Tillage Research, 126, 78–89. doi:10.1016/j.still.2012.08.011

30. Nishigaki, T., Sugihara, S., Kilasara, M. & Funakawa, S. (2020). Carbon dioxide flux and soil carbon stock as affected by crop residue management and soil texture in semi-arid maize croplands in Tanzania. Soil Use and Management. doi:10.1111/sum.12680
31. Gültekin, R., Avağ, K., Görgişen, C., Öztürk, Ö., Yeter, T. & Alsan, P. B. (2023). Effect of deficit irrigation practices on greenhouse gas emissions in drip irrigation. Scientia Horticulturae, 310, 111757.
32. Ciais, P., Soussana, J.F., Vuichard, N., Luyssaert, S., Don, A., Janssens, I., Piao, S., Dechow, R., Lathière, J., Maignan, F. et al. (2010). The greenhouse gas balance of European grasslands. Biogeosci. Discuss. 2010, 7, 5997–6050.
33. Schils, R., Kuikman, P., Liski, J., van Oijen, M., Smith, P., Webb, J., Alm, J., Somogyi, Z., van der Akker, J., Billet, M. et al. (2008). Review of Existing Information on the Interrelations Between Soil and Climate Change. Final Report ClimSoil Prepared for DG Environment, Contract Number 070307/2007/486157/SER/B1, Technical Report-2008-048. Available online: https://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/climsoil_report_dec_2008.pdf (access date 14 February 2022)
34. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security. Science 2004, 304, 1623–1627.

Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea îngrășămintelor

O parte semnificativă din gazele cu efect de seră care cauzează încălzirea globală sunt eliberate în atmosferă ca rezultat al activităților agricole. Cantitatea de emisii de gaze cu efect de seră datorate activităților agricole și utilizării terenurilor la nivel global a ajuns la 9,3 Gt echivalent CO_2 până în 2018 [1]. În timp ce cantitatea de emisii bazată pe producția vegetală și animală a fost de 5,3 Gt echivalent CO_2 în 2018, această cantitate a crescut cu aproximativ 14% în comparație cu anul 2000.

Emisiile de gaze cu efect de seră provenite din agricultură constau în principal din gazele metan (CH_4) și oxidul nitric (N_2O). Cea mai mare emisie de gaze cu efect de seră în cadrul activităților agricole este de origine enterică. Aceasta apare ca rezultat al fermentației, proporția acesteia raportată la toate activitățile agricole fiind de aproape de 48%. Unul dintre cele mai importante inputuri agricole în producția vegetală este reprezentat de îngrășăminte, datorită cărora se produce o emisie semnificativă de gaze cu efect de seră în atmosferă. 10% din gazele emise în atmosferă în 2020 datorită activităților agricole au fost realizate datorită utilizării îngrășămintelor sintetice [2]. În afara îngrășămintelor chimice utilizate în agricultură, gunoiul de animale are, de asemenea, o cotă importantă ca sursă de emisie. În Tabelul 1 este prezentată cantitatea de emisii de gaze cu efect de seră provenite din agricultură la nivel mondial în 2020.

Tabelul 1. Distribuția globală a emisiilor de gaze cu efect de seră în agricultură în 2020.

Sursa emisiei	**Cantitatea emisă (Kilotone de CO_2 echivalent)**	**%**
Fermentație enterică	2849716	47,60
Gunoi de grajd rămas pe pășune	772541	12,91
Cultivarea orezului	686111	11,46
Îngrășăminte sintetice	625107	10,44
Utilizarea gunoiului de grajd	399815	6,68
Incendii de savană	211921	3,54
Reziduuri ale producției agricole	191540	3,20
Gunoi de grajd aplicat pe sol	165093	2,76
Soluri cultivate organic	46996	0,79
Produse reziduale agricole arse	37387	0,62
TOTAL	**5986227**	**100**

În ultimii ani a avut loc o creștere generală a emisiilor de gaze cu efect de seră în atmosferă. Această situație este valabilă și pentru emisiile de gaze cu efect de seră provenite din producția agricolă, ratele de emisii crescând de-a lungul anilor în funcție de activitățile desfășurate. Cu toate acestea, creșterea emisiilor din agricultură datorită utilizării îngrășămintelor chimice a atins rate mult mai mari. Tabelul 2 arată emisiile de gaze cu efect de seră ale unor activități agricole de-a lungul anilor. Într-un interval de 60 de ani, rata de creștere, care a fost de aproximativ 40-50% în funcție de activitate, a avut o valoare reprezentând de aproape 10 ori cea corespunzătoare îngrășămintelor sintetice. În plus, așa cum se poate observa din Tabelul 2, exceptând utilizarea îngrășămintelor, o cantitate semnificativă de emisii de gaze cu efect de seră are loc în timpul producerii acestora.

Tabelul 2. Modificarea în timp a emisiilor de gaze din agricultură.

Sursa emisiei	Cantitatea emisă (Kilotone de CO_2 echivalent)							Rata de modificare (%)*
	1961	1970	1980	1990	2000	2010	2020	
Fermentație enterică	1829661	2069925	2320767	2493671	2473802	2654500	2849716	56
Cultivarea orezului	487941	560752	609831	620854	653281	682752	686111	41
Aplicarea îngrășămintelor	109013	122615	144580	156499	145270	156386	165093	51
Îngrășăminte sintetice	63209	174069	334374	425288	446178	559822	625107	889
Producerea îngrășămintelor				152687	225708	361709	389142	155

**Ratele de modificare se bazează pe compararea datelor în 2020 față de 1961 (deoarece nu există date referitoare la producerea îngrășămintelor în 1961 raportarea este făcută la anul 1990)*

Mecanismul de emisie a gazelor cu efect de seră în atmosferă din cauza îngrășămintelor

Emisiile agricole de gaze cu efect de seră constau în principal din oxid de azot (N_2O), rezultat din fertilizare și din metan (CH_4), rezultat din creșterea bovinelor. După cum este arătat în Figura 1, deși gazele N_2O și CH_4 sunt mai puțin comune în atmosferă în comparație cu gazul CO_2, acestea au un potențial mai ridicat de încălzire globală. În Panelul privind Schimbările Climatice Globale, s-a afirmat că masele unitare ale gazelor CH_4 și N_2O au un potențial de încălzire globală de 25, respectiv 298 de ori mai mare în comparație cu gazul CO_2 pe o perioadă de 100 de ani. Se prevede că emisiile de gaze cu efect de seră provenite din agricultură către atmosferă au crescut semnificativ în ultimii ani și, dacă nu se iau măsuri, cantitatea de N_2O din atmosferă va crește cu 35-60 %, iar cantitatea de CH_4 cu 60 % până în 2030 [4].

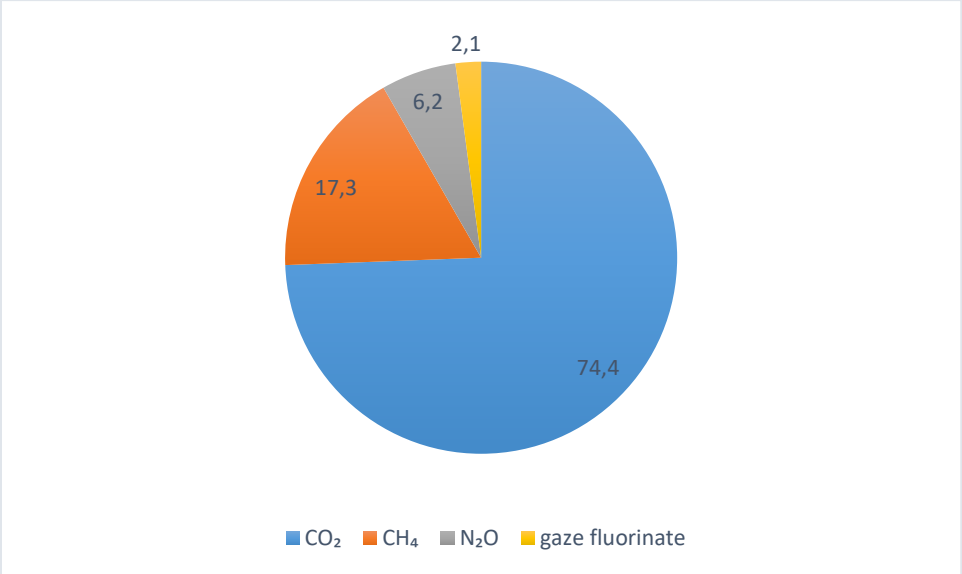


Figura 1. Ratele globale de emisie a gazelor cu efect de seră (adaptare după Ritchie și colab., 2020 [5]).

Moleculele de oxid nitric pot rămâne în atmosferă în medie 114 ani. Global, majoritatea emisiilor de N_2O pătrund în mod natural în atmosferă, aproximativ 40 % fiind cauzate de activitățile umane. Emisiile antropice de N_2O, în mare parte, sunt eliberate în atmosferă prin activități agricole. Utilizarea îngrășămintelor azotoase în activitățile agricole are un mare efect asupra emisiilor de N_2O.

Emisia de azot din sol în atmosferă poate surveni direct sub formă de emisie de N_2O și poate avea un efect radiativ, precum și prin emisiile de azot sub formă de NO_2 și NO (denumite împreună NO_x) și alte gaze cu efect de seră precum ozonul (O_3) și metanul (CH_4). Aceste emisii au un efect indirect prin

modificarea concentrațiilor atmosferice ale gazelor. Ozonul, care este un puternic oxidant, poate cauza unele probleme în creșterea plantelor. Plantele expuse ozon pentru o perioadă îndelungată înregistrează o scădere a producției de carbohidrați și o creștere a sensibilității la boli și dăunători [7,11].

Spre deosebire de alte îngrășăminte azotoase, atunci când ureea este aplicată în sol, CO_2-ul adăugat în procesul de producție industrială este eliberat. Ureea (CH_4N_2O) se transformă în ioni de amoniu (NH_4^+), hidroxil (OH^-) și bicarbonat (HCO_3^-) în prezența apei și a enzimelor ureazei. HCO_3^- format ca rezultat al reacției este separat în CO_2 și H_2O după adăugarea de var [12]. În acest fel, eliberarea de CO_2 din sol este la nivele mai scăzute în comparație cu eliberarea de N_2O rezultată din aplicarea de îngrășăminte azotoase [8].

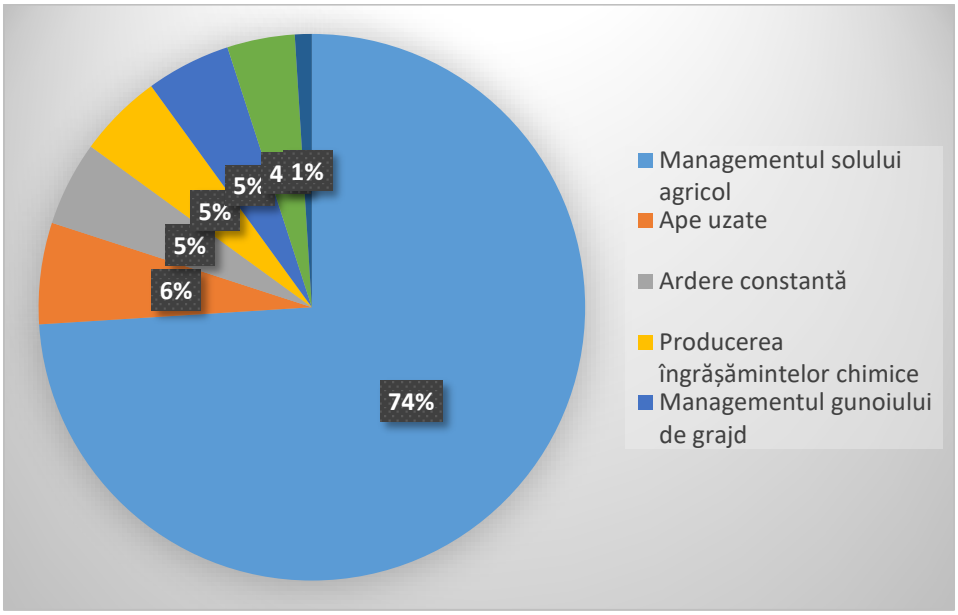


Figura 2. Surse de emisie de N_2O în 2020 [7]

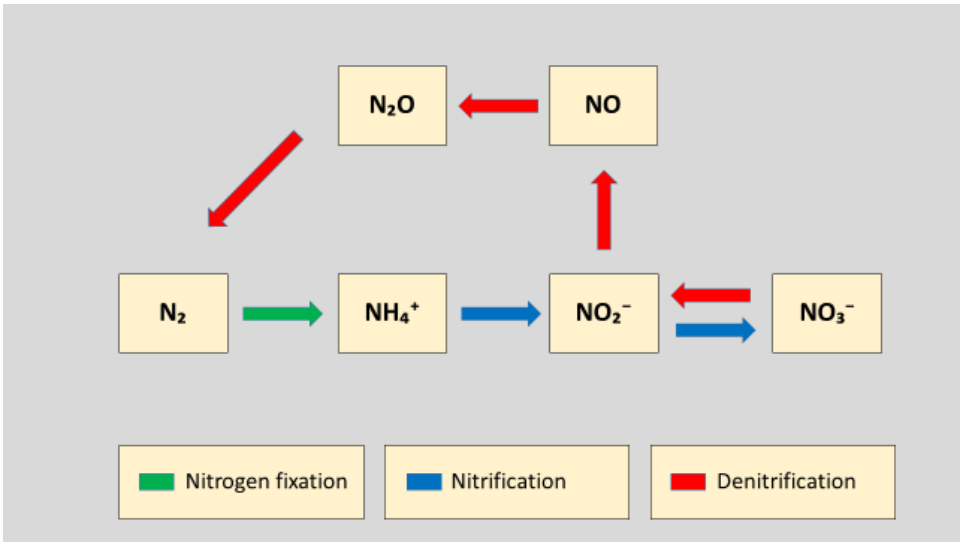


Figura 3. Reprezentare schematică a ciclului azotului (adaptare după Tilstra și colabl. 2019 [9]).

Emisiile de gaze cu efect de seră datorate îngrășămintelor sintetice pe bază de azot

Fertilizarea este principala metodă folosită pentru a crește productivitatea în producția agricolă. Azotul, elementul nutritiv care limitează cel mai mult creșterea plantelor, este un element

indispensabil pentru continuitatea și productivitatea producției vegetale. Îngrășămintele azotoase se numără printre cele mai utilizate îngrășăminte la nivel global. Producția anuală de îngrășăminte azotoase este estimată la aproximativ 100 Tg N la nivel global [13].

Cu toate acestea, îngrășămintele azotoase pot provoca unele probleme grave de mediu dacă nu sunt utilizate cu grijă. Poluarea cu nitrați în apele subterane este una dintre aceste probleme. O altă problemă importantă este emisiile produse în atmosferă prin transformarea îngrășămintelor în gaz N_2O ca rezultat a denitrificării după aplicarea acestora, aceste emisii jucând un rol activ în încălzirea globală. O foarte mică parte (0,5-3,0 %) din azotul aplicat pe câmpurile agricole este eliberată efectiv în atmosferă sub formă de N_2O [14,15], însă efectul este foarte puternic datorită potențialului ridicat de încălzire globală al acestui gaz și capacității sale de a rămâne în atmosferă pentru o perioadă lungă de timp. Făcând o evaluare în termeni de potențial de încălzire globală, fiecare 1 kg de azot aplicat în sol corespunde cu 1,4-14,0 kg de CO_2, acceptându-se o valoare medie de 4,65 kg de CO_2[12].

N_2O eliberat în atmosferă din cauza utilizării îngrășămintelor azotoase reprezintă cea mai mare sursă umană de N_2O [16]. Emisiile de gaze cu efect de seră au crescut aproximativ de 10 ori datorită utilizării îngrășămintelor sintetice începând din 1961 (momentul de la care avem acces la date la nivel global legate de acest aspect). Emisiile de gaze cu efect de seră din îngrășămintele sintetice reprezintă aproximativ 11% din totalul emisiilor din agricultură [2]. Un procent semnificativ din aceste emisii provine de pe continentul asiatic (Figura 4)

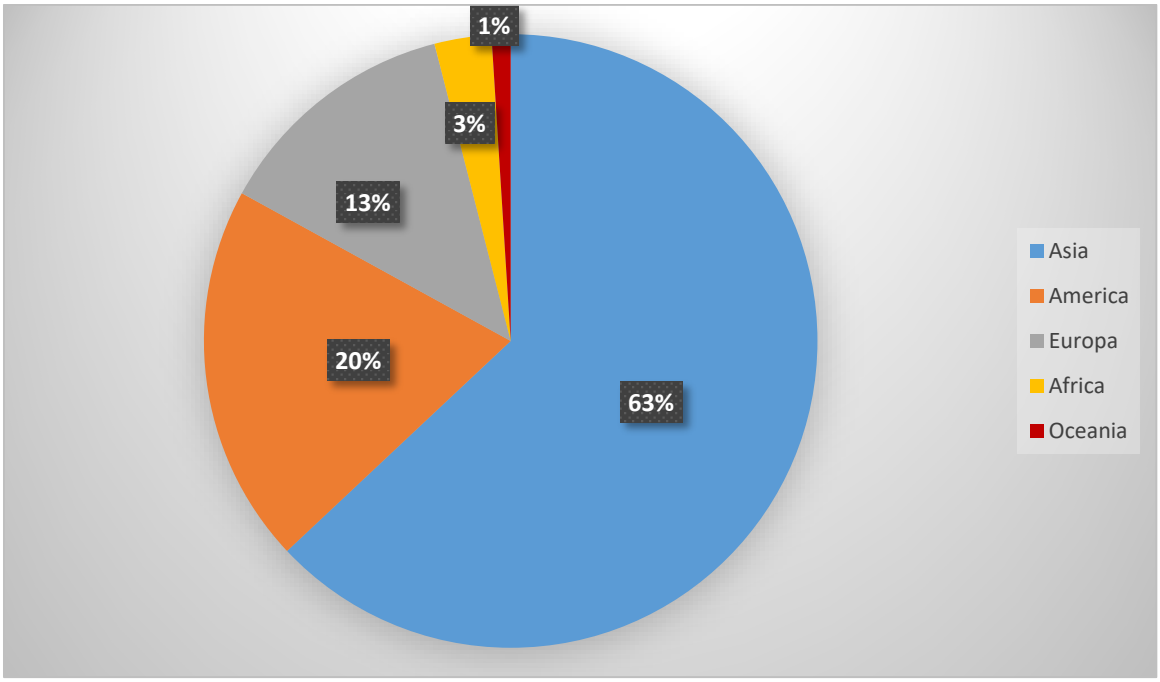


Figura 4. Procentul de emisii de N_2O datorat îngrășămintelor sintetice în perioada 2001-2011 pe continente [17].

China este cel mai mare producător și consumator de îngrășăminte azotoase din lume. Aproximativ 7% din toate emisiile de gaze cu efect de seră din China provin din producția și utilizarea îngrășămintelor azotoase [18]. Emisiile de gaze cu efect de seră provenite din utilizarea îngrășămintelor azotoase sintetice reprezintă aproximativ 55% din emisiile agricole din China, utilizarea de îngrășăminte azotoase sintetice fiind considerată cel mai important factor care contribuie la emisiile de N_2O din solurile agricole [19]. Astfel, cercetătorii au încercat să determine folosind modelarea, cantitatea de emisii de gaze cu efect de seră datorită producției și folosirii îngrășămintelor azotoase sintetice pentru grâu și porumb, produse agricole importante în China. Consumul anual de îngrășăminte azotoase sintetice pentru grâu și porumb este raportat ca fiind de 12,63 milioane tone. Emisiile de gaze cu efect

de seră asociate producției de îngrășăminte azotoase sintetice în întreaga țară sunt date ca fiind de 41,44 milioane tone CO_2 echivalente pentru grâu și 59,71 milioane tone pentru porumb. Ca rezultat al aplicării îngrășămintelor azotoase, eliberarea de N_2O în atmosferă a fost estimată la 35,82 și 69,44 Gg N_2O an^{-1} pentru grâu și respectiv porumb.

Una dintre cele mai importante probleme întâmpinate la nivel mondial în gestionarea îngrășămintelor azotoase sintetice este momentul aplicării îngrășămintelor. Fertilizarea optimă reprezintă furnizarea azotul în sol atunci când planta are cea mai mare nevoie de el. În caz contrar, azotul în exces față de necesarul plantei va fi pierdut sub formă de emisie de N_2O sau va fi spălat în sol. Reglarea acestui aspect este o problemă complicată, mai ales la plante precum porumbul, unde necesarul de azot este foarte mic în prima perioadă de vegetație, dar crește considerabil în etapele ulterioare de dezvoltare [10]. Furnizarea îngrășămintelor azotoase în perioade în care plantele nu sunt încă plantate sau când cerințele lor pentru vegetație sunt foarte reduse, poate duce la pierderea unei cantități mari de azot.

Câțiva factori de mediu care influențează eliberarea de gaze cu efect de seră de către îngrășăminte

Oxidul de azot din soluri este afectat de diferiți factori de mediu. Cantitatea de N_2O formată depinde de cantitatea de oxigen din porii solului, iar direcția reacției depinde de temperatură. În condiții de temperatură scăzută, conversia compușilor de azot încetinește, în timp ce rata conversiei crește odată cu creșterea temperaturii. Pe măsură ce saturația cu apă a solurilor crește, concentrația de O_2 scade. Un alt factor care afectează eliberarea de N_2O din solurile agricole este cantitatea de amoniu (NH_4^+) care poate fi utilizată pentru nitrificare și concentrația de nitrit (NO_2^-) care va fi utilizată în denitrificare. În plus, în solurile cu textură ușoară, neutre sau ușor acide, eliberarea de N_2O crește odată cu prezența azotului NO_3 în mediu.

Într-un studiu s-a încercat determinarea efectelor îngrășămintelor sintetice și organice asupra emisiilor de gaze cu efect de seră în soluri cu structuri diferite [20]. În acest scop, fluxurile de gaze cu efect de seră au fost măsurate timp de 8 săptămâni prin aplicarea îngrășămintelor de azot sub formă de uree și lichid de dejecții de porc în două soluri diferite cu textură nisipoasă și respectiv lutoasă. S-a descoperit că emisiile de gaze N_2O și CH_4 în aplicarea de uree amoniu nitrat și dejecții de porc sunt mai mari în solul nisipos decât în solul lutos. Se crede că emisia este mai redusă deoarece capacitatea mare de schimb cationic și adsorbția crescută a NH_4^+ reduc prezența azotului. În plus, s-a afirmat că volumul mai mare de pori umpluți cu apă în solul nisipos în comparație cu solul lutos ar putea intensifica denitrificarea și producția de metan.

Emisiile datorate aplicării îngrășămintelor azotoase pot varia în funcție de sol și de proprietățile îngrășămintelor utilizate, precum și de compoziția și cantitatea de microorganisme din sol. Într-un studiu privind acest subiect, s-a dorit determinarea posibilelor efecte ale diferitelor îngrășăminte azotoase asupra emisiilor de gaze cu efect de seră în diferite interacțiuni sol, plantă și microorganism [21]. În studiu au fost testate trei tipuri diferite de îngrășăminte pe două soluri diferite cu proprietăți diferite în cultivarea orzului. În general, rezultatele au arătat că fertilizarea a crescut puternic respirația plantelor, rezultând nivele mai ridicate de emisie a CO_2 și, ca urmare a secreției crescute a rădăcinilor, s-a detectat a activitate microbiană intensificată. La sfârșitul studiului, s-a subliniat că evaluarea structurii microorganismelor solului este de primă importanță în determinarea efectului fertilizării azotoase asupra potențialului global de încălzire indus de sol. Un accent deosebit s-a pus pe contribuția oxidanților de amoniu bacterieni și arheeni la emisiile de N_2O. Deoarece emisiile de N_2O se pot intensifica datorită nitrificării, studiul a subliniat importanța determinării proporțiilor optime de ioni NH_4^+ și ioni NO_3^- și folosirii de inhibitori de nitrificare în timpul fertilizării.

Efectele utilizării îngrășămintelor cu eficiență crescută în reducerea emisiilor

Creșterea eficacității îngrășămintelor, atât minimizând posibilele pierderi în sol, cât și permițând plantelor să beneficieze de nutrienți într-un procent cât mai mare, a devenit recent o temă de interes importantă. Aceste îngrășăminte, denumite în general îngrășăminte îmbunătățite pentru productivitate, sunt definite de Asociația Oficialilor de Control al Îngrășămintelor din Plante din America (AAPFCO) drept "produse de îngrășăminte cu proprietăți care cresc absorbția plantelor și reduc pierderea de nutrienți" [22]. Pentru producerea acestor îngrășăminte se utilizează diferite metode, cum ar fi acoperirea, încapsularea și adăugarea de inhibitori, meniți să mărească eficiența îngrășămintelor azotoase. În acest fel, se poate realiza o eliberare pe o perioadă extinsă a azotului minimizându-se pierderile.

Îngrășămintele cu eliberare lentă și controlată și îngrășămintele cu adăugare de inhibitori au o eficiență mai mare în utilizarea azotului și au potențialul de a reduce emisiile de N_2O datorate fertilizării. Mai jos sunt prezentate câteva rezultate prezentate de Halvorson și colaboratorii, 2014 [23], cu studii realizate în diferite momente. Acestea au fost efectuate în condiții de agricultură irigată pentru cultivarea porumbului:

Un material cu eliberare controlată realizat cu uree acoperită cu un polimer duce la o reducere a emisiilor de N_2O cu 42% în comparație cu ureea și cu 14% în comparație cu îngrășământul de nitrat de amoniu cu uree (UAN) în condiții de arătură minimă și fără arătură, nefiind evidențiate diferențe în valorile emisiilor în condiții de arătură convențională. Aplicarea îngrășământului inhibitor de uree a redus valoarea emisiilor de N_2O cu 46% față de ureea normală și cu 21% față de îngrășământul de nitrat de amoniu cu uree.

În cazul aplicării inhibitoare a îngrășământului de nitrat de amoniu cu uree (UAN), valoarea emisiilor a scăzut cu 61 % față de ureea normală și cu 41% față de îngrășământul de nitrat de amoniu cu uree.

Într-un studiu în care s-a utilizat o sursă de UAN cu eliberare lentă, scăderea emisiilor de N_2O s-a dovedit a fi de 57% pentru uree și 28% pentru UAN.

Într-un studiu realizat în regiunile centrale ale Chinei s-a încercat determinarea efectelor surselor de îngrășăminte azotoase asupra emisiilor de gaze cu efect de seră în câmpurile de orez [24]. În acest scop, au fost comparate loturi de control fără îngrășământ (N0), altele numai cu aplicare de îngrășăminte anorganice (IF), numai cu aplicare de îngrășăminte organice (OF), aplicare mixtă de îngrășăminte anorganice și cu eliberare lentă (SRIF) și aplicare mixtă de îngrășăminte anorganice și organice (OFIF). Conform rezultatelor obținute în studiu, sursele de îngrășăminte azotoase au afectat semnificativ emisiile de CH_4 și N_2O. În comparație cu lotul de control (N0), IF, SRIF, OF și OFIF au crescut emisiile de CH_4 cu 55 %, 42 %, 51 % și respectiv 66 % , iar emisiile de N_2O cu 165%, 93%, 130% și respectiv 251%. În urma studiului, cercetătorii au sugerat că aplicarea îngrășămintelor chimice împreună cu îngrășămintele cu eliberare lentă este o strategie durabilă pentru a crește producția de orez și pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, dar costurile ridicate ale îngrășămintelor noi ar trebui să fie subvenționate de instituțiile publice.

Emisiile de gaze cu efect de seră în timpul producerii îngrășămintelor

Tehnica Haber-Bosch pentru producția de amoniac (NH_3) folosind azot (N) și hidrogen (H) este metoda principală de producție a îngrășămintelor azotoase în lume, necesitând temperaturi ridicate și o cantitate mare de energie [25]. Se estimează că aproximativ 1,2% din energia folosită în lume este consumată în timpul producției de îngrășăminte, același procent (1,2%) din totalul gazelor cu efect de seră fiind emise [26]. În timpul producției de amoniac sunt necesari aproximativ 1250 m^3 de gaze naturale pentru 1 tonă metrică de amoniac anhidru [27]. Producția de amoniac și uree se numără

printre principalele surse de emisii de CO_2 din activitățile umane. Prin urmare, în funcție de utilizarea lor, îngrășămintele nu numai că emit gaze cu efect de seră, dar duc la producerea unei cantități semnificative în timpul producției lor. Cantitatea de gaze cu efect de seră eliberate în atmosferă în timpul producției de îngrășăminte la nivel global în 2020 a fost raportată ca fiind de 389,142 de kilotone de CO_2 echivalent [2].

Tabelul 3. Factori de emisie a GES pentru unele îngrășăminte (adaptare după Wood & Cowie, 2004 [28])

Produs	Țara	Conținut	g CO_2 echivalent					Sursa
		N:P:K	kg N	per kg P_2O_5	per kg K_2O	kg per product	CO_2:N_2O:CH_4	
AN	Media Europeană	35,0:0:0	7031	-	-	2461	39,6:59,5:0,9	[29]
AN	Olanda	33,5:0:0	7109	-	-	2381	38,5:60,9:0,5	[30]
AN	Regatul Britanic	33,5:0:0	6537	-	-	2190	29,1:69,7:1,2	[31]
CAN	Suedia	27,6:0:0	8467	-	-	2337	38,3:60,9:0,8	[29]
CAN	Media Europeană	26,5:0:0	7482	-	-	1983	39,8:60,6:0,9	[29]
Uree	Media europeană	46:0:0	4019	-	-	1849	97,5:0,1:2,3	[29]
Uree	Europa	46:0:0	1707	-	-	785	-	[32]
UAN	Media europeană	32:0:0	5763	-	-	1844	59,1:39,5:1,4	[29]
UAN	Media europeană	32:0:0	4093	-	-	1310	-	[26]
UAN	Tehnologia modernă europeană	32:0:0	2000	-	-	640	-	[26]
TSP	Media europeană	0:48:0:0	-	1084	-	520	96,7:0,5:2,8	[29]
TSP	Media europeană	0:48:0:0	-	354	-	170	-	[26]
MAP	Media europeană	11:52:0	6393	1352	-	238	97,9:0,3:1,9	[29]
MAP	Media europeană	11:52:0	2818	596	-	310	-	[26]
DAP	Media europeană	18:46:0	4812	1883	-	866	97,8:0,2:1,9	[29]
NPK	Suedia	17:04:13	9416	40018	12313	1601	40,2:59,0:0,8	[29]
NPK	Suedia	20:05:04	9546	38183	47729	1909	37,9:61,4:0,8	[29]
NPK (Acid)	Media europeană	15:15:15	7496	7496	7496	1124	52,1:46,9:1,0	[29]
NPK (Nitro)	Media europeană	15:15:15	7896	7896	7896	1184	50,8:48,2:1,1	[29]

Emisiile de gaze cu efect de seră din producția de îngrășăminte variază foarte mult în funcție de tipul de îngrășământ utilizat și tehnologia de producție. Datorită proceselor complexe din faza de producție, estimarea exactă a emisiilor este dificilă și limitată. Evaluarea ciclului de viață (LCA) este o metodă larg utilizată pentru a determina emisiile. Această evaluare este realizată de o aplicație care calculează rezultatele tuturor activităților desfășurate în timpul fazei de producție și care au un efect direct sau indirect asupra vieții, și este definită ca un indicator ecologic. În această evaluare, este analizat în

detaliu impactul produselor și proceselor asupra mediului, adică evaluarea include emisiile din producție și utilizare. Factorii de emisie ajută la evaluarea ciclului de viață, fără a necesita calcularea detaliată a emisiilor [28]. Un factor de emisie reprezintă cantitatea tipică de gaze cu efect de seră eliberate în atmosferă per unitate de activitate. Cercetătorii au efectuat un studiu în care au compilat factorii de emisie publicați în literatura de specialitate în legătură cu producția de azot, fosfor și unele îngrășăminte compuse pentru a fi utilizați ca intrări în calculul balanței gazelor cu efect de seră. Unele dintre rezultatele prezentate în acest studiu sunt rezumate în Tabelul 3. Principalele gaze cu efect de seră care apar în timpul producției de îngrășăminte azotoase sunt CO_2, care se formează ca rezultat al arderii gazelor naturale folosite în sinteza de amoniac, și N_2O, care este eliberat în timpul producției de acid azotic. CO_2 emis datorită utilizării combustibililor fosili în timpul producției de îngrășăminte pe bază de fosfatat și în timpul transportului materiilor prime au fost principalele gaze cu efect de seră în producție.

Analizând Tabelul 3 se poate observa că există diferențe semnificative între diferite studii în ceea ce privește factorii de emisie pentru fiecare produs utilizat ca îngrășământ. S-a raportat că aceste diferențe se datorează diferențelor între plante, mecanismelor de control al emisiilor și diferențelor în materiile prime folosite.

Într-un studiu care examinează emisiile de gaze cu efect de seră rezultate din producția și utilizarea îngrășămintelor organice și anorganice, au fost selectate peste 200 de articole dintre multe studii originale, iar rezultatele au fost compilate [33]. În studiu, s-au evaluat factorii de emisie în timpul producției de îngrășăminte. În producția de îngrășăminte azotoase sintetice, în funcție de tipul de îngrășământ și sursa de hidrogen folosită în timpul producției, s-a raportat că factorul de emisie variază între 1 și 10 kg de echivalente de CO_2 per 1 kg de N, în timp ce factorul de emisie raportat pentru producția de îngrășăminte fosfatate variază între 1-1,5 kg CO_2-echivalent.kg^{-1} P_2O_5. Se menționează că există informații insuficiente despre emisiile din producția de îngrășăminte potasice. Cercetătorii au subliniat că în general există variații între factorii de emisie datorită diferențelor între materiile prime utilizate și diferențelor de aplicare a fertilizatorilor între țări.

Emisiile generate în timpul producției de compost au variat într-un interval larg. Factorul de emisie pentru o tonă de deșeuri solide a fost raportat între 1-2300 kg echivalente de CO_2. Emisiile din transport au fost în general foarte reduse pentru toate tipurile de îngrășăminte.

S-a raportat că îngrășămintele organice au emisii ridicate, în special în timpul stocării pe termen lung. În plus, în timpul stocării deșeurilor sau îngrășămintelor organice lichide, emisiile de CH_4 scad, în timp ce există o creștere a emisiilor de N_2O. Emisiile din stocarea îngrășămintelor sintetice sau a compostului au fost raportate ca fiind neglijabile, dar s-a menționat că există puține date despre stocarea compostului.

Emisiile de gaze cu efect de seră datorate gunoiului de grajd

Deșeurile animale au o cotă semnificativă în emisiile de gaze cu efect de seră provenite din agricultură. Managementul deșeurilor animale, gunoiul lăsat în pășuni și gunoiul aplicat pe sol produce aproximativ 22% din emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură. Emisiile de gaze cu efect de seră provenite din deșeurile animale rezultate din activitățile de creștere a animalelor sunt gazele metan (CH_4) și oxidul de azot (N_2O). Emisiile de gaze cu efect de seră prin intermediul deșeurilor animale variază în mod semnificativ în funcție de numeroși factori. Panelul Interguvernamental pentru Schimbările Climatice (IPCC) stabilit în cadrul Programului Națiunilor Unite pentru Mediu, în evaluarea riscurilor schimbărilor climatice cauzate de activitățile umane, oferă metodologii pentru estimarea inventarelor naționale de emisii de gaze cu efect de seră. În acest scop, factorii de emisie ai gazului CH_4, bazate pe "Raportul internațional privind inventarul emisiilor de gaze cu efect de seră" al IPCC și pe o

temperatură medie anuală de 20°C, sunt prezentați în Tabelul 4. În tabel, se iau în considerare valorile din Europa de Est pentru bovine, porci și bivoli, în timp ce valorile corespunzătoare țărilor dezvoltate sunt utilizate pentru alte animale.

Tabelul 4. Factorii de emisie pentru metan în managementul gunoiului de grajd (adaptat după IPCC 2006 [35])

Animale din fermă	**Factor de emisie (kg CH_4 animal^{-1}·an^{-1})**
Bovine pentru lapte	27
Alte bovine	13
Porci	5
Porci pentru montă	8
Bivoli	11
Oi	0.28
Capre	0.20
Cămile	2.37
Cai	2.34
Măgari	1.10
Avicultură	0.02
Curcani	0.09
Rațe	0.03

Odată cu creșterea populației a crescut și numărul animalelor crescute într-un sistem închis pentru a satisface nevoile de hrană. Îngrășămintele de origine animală sunt larg utilizate în câmpurile arabile. Aceste produse, care au o mare importanță pentru îmbunătățirea sănătății solului, contribuie și ele direct sau indirect la emisiile de gaze cu efect de seră. Cantitățile potențiale de emisii de gaze cu efect de seră din dejecțiile animale din diferite țări sunt prezentate în Tabelul 5.

Tabelul 5. Emisia de dioxid de carbon (CO_2), metan (CH_4) și oxid de azot (N_2O) datorate gunoiului de origine animală produs în unele țări (adaptare după Thangarajan și colab., 2013 [36])

Țara	**animal type**	**Cantitatea și Rata Potențială a Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră**					
		CO_2–C (Gg an^{-1})	**% din total emisii**	**CH_4 CO_2 –C eq. (Gg an^{-1})**	**% din total emisii**	**N_2O CO_2 –C eq. (Gg an^{-1})**	**% din total emisii**
Australia	**Pui**	357	0,09	56	0,05	118	0,51
	Bovine	8781	2,10	1850	1,66	1947	8,36
	Porci	158	0,04	41	0,04	53	0,23
	Oi	4509	1,08	907	0,81	1162	4,99
SUA	**Pui**	9040	0,16	1417	0,21	2983	0,97
	Bovine	30837	0,54	6497	0,97	6837	2,23
	Porci	4493	0,08	1151	0,17	1506	0,49
	Oi	372	0,01	75	0,01	96	0,03
Noua Zeelandă	**Pui**	58	0,18	9	0,03	19	0,18
	Bovine	3240	9,76	683	2,54	718	6,87
	Porci	23	0,07	6	0,02	8	0,07

	Oi	2156	6,50	434	1,62	556	5,32
China	**Pui**	20674	0,67	3242	0,45	6822	2,58
	Bovine	27525	0,90	5800	0,81	6103	2,31
	Porci	32960	1,07	8444	1,17	11047	4,18
	Oi	8875	0,29	1786	0,25	2288	0,87
Bangladej	**Pui**	982	5,96	154	0,02	324	7,26
	Bovine	7572	46,00	1595	6,38	1679	37,65
	Oi	121	0,73	24	24	31	0,70
Africa de Sud	**Pui**	689	0,22	108	0,25	227	1,10
	Bovine	4510	1,43	950	2,20	1000	4,84
	Porci	110	0,03	28	0,07	37	0,18
	Oi	1623	0,51	327	0,76	418	2,02
Germania	**Pui**	491	0,05	77	0,16	162	0,29
	Bovine	4208	0,51	887	1,86	933	1,70
	Porci	1835	0,22	470	0,99	615	1,12
	Oi	138	0,02	28	0,06	36	0,06

Bibliografie

1. FAO, (2020). Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 18. Rome
2. FAOSTAT, (2023). https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT
3. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt , M. Tignor and HL Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
4. FAO, (2011) “Climate Change Mitigation Finance for Smallholder Agriculture”. A guide book to harvesting soil carbon sequestration benefits.
5. Ritchie, H., Roser M., Rosado, P., (2020). "CO_2 and Greenhouse Gas Emissions". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions
6. IPCC, (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner , M. Tignor , SK Allen, J. Boschung , A. Nauels , Y. Xia, V. Bex and PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1585 pp.
7. Environmental Protection Agency (EPA), (2022). Ecosystem Effects of Ozone Pollution. https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution (accessed 12.03.2023.)
8. Kayıkçıoğlu, H.H., Okur, N., (2012). Greenhouse gas in the release agriculture role. Adnan Menderes University. zir. fac. Magazine , 9(2): 25-38
9. Tilstra, A., El-Khaled, YC, Roth, F. et al. (2019). Denitrification Aligns with N2 Fixation in Red Sea Corals. Sci Rep. 9, 19460 (2019). https://doi.org/10.1038/s41598-019-55408-z
10. Gregorich, E., Janzen, HH, Helgason, B., Ellert, B. (2015). Nitrogenous Gas Emissions from Soils and Greenhouse Gas Effects. Advances in Agronomy, 39–74. doi:10.1016/bs.agron.2015.02.004
11. Betzelberger, A.M., Yendrek , C.R., Sun, J., Leisner, C.P., Nelson, R.L., Avg, D.R., Ainsworth, E.A., (2012). Ozone exposure response for US soybean cultivars: linear reductions in photosynthetic potential, biomass, and yield. Plant Physiol. 160, 1827e1839

12. Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment, 133: 247–266
13. Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. Nature Geoscience, 1(10), 636–639. doi:10.1038/ngeo325
14. Stehfest, E., Bouwman, L., (2006). N_2O and NO emissions from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutr . Cycling Agroecosyst . 74, 207e228
15. Linquist, B., van Groenigen, K.J., Adviento-Borbe, M.A., Pittelkow, C., van Kessel, C., (2012). An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. Global Change Biol. 18, 194e209
16. Gellings, C.W., Parmenter, K.E. (2016). Energy efficiency in fertilizer production and use. Efficient Use and Conservation of Energy; Gellings , CW, Ed.; Encyclopedia of Life Support Systems, 123-136
17. FAO, (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. FAO Statistics Division Working Paper Series ESS/14-02
18. Zhang, W.-F., Dou, Z.-X., He, P., Ju, X.-T., Powlson, D., Chadwick, D., Zhang, F.-S. (2013). New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(21), 8375–8380. doi:10.1073/pnas.1210447110
19. Chai, R., Ye, X., Ma, C., Wang, Q., Tu , R., Zhang, L., Gao, H. (2019). Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. Carbon Balance and Management, 14(1). doi:10.1186/s13021-019-0133-9
20. Jarecki, M.K., Parkin, T.B., Chan, A.S.K., Hatfield, J.L., Jones, R. (2008). Greenhouse Gas Emissions from Two Soils Receiving Nitrogen Fertilizer and Swine Manure Slurry. Journal of Environmental Quality, 37(4), 1432–1438. doi:10.2134/jeq2007.0427
21. Inselsbacher, E., Wanek, W., Ripka, K., Hackl, E., Sessitsch, A., Strauss, J., Zechmeister-Boltenstern, S. (2010). Greenhouse gas fluxes respond to different N fertilizer types due to altered plant-soil-microbe interactions. Plant and Soil, 343(1-2), 17–35. doi:10.1007/s11104-010-0597-6
22. Association of American Plant Food Control Officials, (2013). AAPFCO Official Publication 65. AAPFCO, Little Rock, AR.
23. Halvorson, A.D., Snyder, C.S., Blaylock, A.D., Del Grosso, S.J. (2014). Enhanced-Efficiency Nitrogen Fertilizers: Potential Role in Nitrous Oxide Emission Mitigation. Agronomy Journal, 106(2), 715. doi:10.2134/agronj2013.0081
24. Zhang, Z.S., Chen, J., Liu, T.Q., Cao, C.G., Li, C.F. (2016). Effects of nitrogen fertilizer sources and tillage practices on greenhouse gas emissions in paddy fields of central China. Atmospheric Environment, 144, 274–281. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.09.0
25. Modak, J.M. (2002). News process for ammonia synthesis. Resonance, 7(9), 69-77.
26. Kongshaug, G. (1998). Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 1998, 18pp.
27. Gellings, C.W., Parmenter , K.E. (2016). Energy efficiency in fertilizer production and use. Efficient Use and Conservation of Energy; Gellings , C.W., Ed.; Encyclopedia of Life Support Systems, 123-136.
28. Wood, S.W., Cowie, A. (2004). A review of greenhouse gas emission factors for fertiliser production.http://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/2004_wood_a_review_of_greenhouse_gas_emission_factors.pdf

29. Davis, J., Haglund, C. (1999). Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production. Fertiliser Products Used in Sweden and Western Europe. SIK-Report No. 654. Master's Thesis, Chalmers University of Technology
30. Kramer, K.J., Moll, H.C., Nonhebel , S. (1999). Total Greenhouse Gas Emissions Related to the Dutch Crop Production System. Agriculture, Ecosystems and Environment, 72, 9-16
31. Elsayed, M.A., Matthews, R., Mortimer, N.D. (2003). Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options. Report by Resources Research Unit, Sheffield Hallam University for DTI Sustainable Energy Programs
32. Kuesters, J., Jenssen, T. (1998). Selecting the Right Fertilizer from an Environmental Life Cycle Perspective. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 1998, 7pp.
33. Walling, E., Vaneeckhaute, C. (2020). Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. Journal of Environmental Management, 276, 111211. doi:10.1016/j.jenvman.2020.11121
34. Black, G., Alone, I., Sayar, M. (2019). Konya Province Animal Husbandry Fertilizer Welded Greenhouse Gas Emissions Status. National Environment Science Research Journal, 2 (2), 57-60. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/47445/599015
35. IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/ .
36. Thangarajan, R., Bolan, N.S., Tian, G., Naidu, R., Kunhikrishnan, A. (2013). Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. Science of The Total Environment, 465, 72–96. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.01.031

Efectele aplicării varului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră din solurile agricole

Peste tot în lume pentru a crește randamentul producției agricole a solurilor cu reacție acidă se utilizează materiale de ameliorare a solului. În utilizarea acestor materiale, se urmărește în principal reducerea acidității solului și creșterea disponibilității nutrienților pentru plante. În acest fel, crește fertilitatea solului și, ca urmare, se îmbunătățește recolta și calitatea produselor. Cea mai preferată metodă la nivel mondial în acest scop este aplicarea varului.

Efectul reacției solului asupra creșterii plantelor

Există mulți factori care afectează absorbția nutrienților din sol de către plante. Printre aceștia, reacția solului este unul dintre cei mai importanți. În general, plantele trebuie să mențină pH-ul solului. Dacă acesta este aproape de valoarea neutră, plantele pot utiliza în mod optim nutrienții. Cu toate acestea, modificările spre caracterul acid sau alcalin ale pH-ului soluției solului reduc semnificativ accesibilitatea unor nutrienți pentru plante.

Aciditatea solului este un termen utilizat pentru a exprima cantitatea de ioni de hidrogen (H) și aluminiu (Al) din soluri. Creșterea cantității de ioni de hidrogen sau de aluminiu duce la limitarea acidificării solului și a negativității capacității de schimb cationic (CSC) a solului. Aceasta este o situație nefavorabilă pentru creșterea rădăcinilor și dezvoltarea normală a plantelor. pH-ul solului este un indicator al "acidității solului" (Figura 1). O valoare a pH-ului de 7,0 este definită ca fiind neutră, sub această valoare solul este acid, iar la valori mai mari este alcalin. Modificările mici ale valorilor pH-ului solului indică diferențe mari în ceea ce privește aciditatea solului. De exemplu, un sol cu un pH de 5 este de 100 de ori mai acid decât un sol cu un pH de 7 [1].

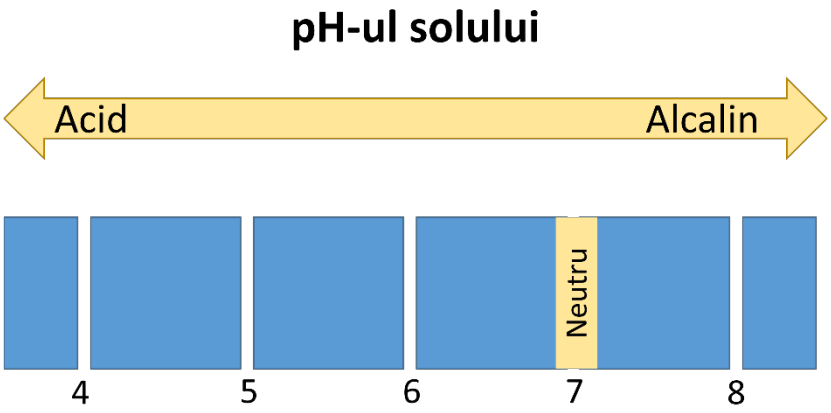


Figura 1. Clasificarea generală a solurilor după pH.

În timpul formării lor, solurile pot fi acide sau pot prezenta proprietăți acide sub influența factorilor de mediu. În zonele cu precipitații abundente, aciditatea solului crește datorită spălării ionilor alcalini, cum ar fi calciul și magneziul sau utilizarea continuă a îngrășămintelor fiziologic acide în producția vegetală.

Aciditatea solului poate avea efecte negative asupra creșterii plantelor în diferite moduri. Cu toate acestea, în funcție de creșterea acidității, cea mai importantă problemă este reprezentată de scăderea disponibilității unor substanțe nutritive pentru plante sau efectele ionilor toxici. În timp ce în solurile acide se observă deficiențe ale unor nutrienți, cum ar fi fosforul și calciul, din cauza scăderii solubilității, ioni precum aluminiul, manganul și hidrogenul pot atinge niveluri care pot provoca toxicitate [2].

Aciditatea este un factor important care limitează randamentul culturilor, aproximativ patru miliarde de hectare de teren din lume fiind acide [3]. Într-o analiză economică, s-a raportat că există o pierdere de 1,6 dolari australieni pe an din cauza pierderii producției de cereale din cauza acidității [4].

Solurile sunt acidifiate ca urmare a eliberării de protoni în timpul nitrificării și a levigării ulterioare a nitraților după aplicarea îngrășămintelor cu azot sau a eliberării de compuși cu N redus în ecosistemele naturale [5]. Ca urmare a utilizării excesive a îngrășămintelor azotate, în special sub formă de uree în Republica Populară Chineză s-a raportat că pH-ul solului a scăzut cu 0,13-0,80, în funcție de proprietățile solului, și, în consecință, terenurile cultivate au fost semnificativ acidificate [6]. Rapoartele arată că aproape jumătate din terenurile arabile din lume sunt acide, extinderea acestor suprafețe fiind în continuă creștere [7].

Aplicarea varului în solurile agricole

În cazul solurilor acide, aplicarea calcarului este metoda cea mai frecvent utilizată pentru neutralizarea solului. Materialele utilizate în mod obișnuit în deacidificare sunt compușii de calciu, cum ar fi calcarul, varul stins și calcarul rapid, și dolomita [8]. În timp ce calciul nu poate crește pH-ul solului atunci când este utilizat singur, cationii bazici din materialele pe bază de calcar pot fi neutralizați de ionii de hidrogen din solurile acide [9].

Calcarul este o practică culturală importantă care crește productivitatea în producția agricolă prin eliminarea acidității din sol. Dacă este efectuată corect, metoda oferă beneficii importante în producția vegetală, unele dintre acestea fiind [1]:

- Duc la o dezvoltare mai bună a rădăcinilor, deoarece acestea vor fi expuse la mai puțină toxicitate exercitată de aluminiu.
- În funcție de materialul utilizat, în sol se adaugă nutrienți disponibili pentru plante, cum ar fi calciul și magneziul.
- Deoarece odată cu aplicarea solubilitatea nutrienților va crește în funcție de creșterea pH-ului solului, va crește și absorbția nutrienților prin rădăcinile plantelor.
- Prin utilizarea calcarului, capacitatea de schimb cationic (CSC) a solului crește, ceea ce previne pierderea prin spălare a cationilor bazici, în special a potasiului.
- Formarea nodulilor la leguminoase va fi susținută, observându-se o creștere a fixării biologice a azotului.
- Deoarece unele erbicide vor fi mai ușor de descompus la un pH optim al solului, se va preveni riscul de deteriorare a plantelor în timpul rotației culturilor. Unele nematicide acționează mai eficient în zonele tratate cu calcar.

În funcție de proprietățile solului, cantitatea de var care trebuie administrată variază. Cantitatea de var care va neutraliza aciditatea totală pentru a asigura o creștere optimă a plantelor în sol este exprimată ca necesarul de var al solului respectiv [10]. Deși, în general, plantele prezintă o creștere bună la valori apropiate de pH-ul neutru, trebuie remarcat faptul că cerința optimă de pH nu este aceeași pentru toate plantele. Din acest motiv, pe lângă proprietățile solului, ar trebui să se cunoască și cerința optimă de pH a plantei cultivate, în timpul aplicării calcarului. În cazul în care se aplică mai mult var decât este necesar pot apare diferite probleme nutriționale. Cerințele optime de pH ale unor plante sunt prezentate în Tabelul 1.

În general, materialele pe bază de calcar sunt de două tipuri. Primul grup, numit calcar calcitic, include carbonatul de calciu ($CaCO_3$), hidroxidul de calciu [$Ca(OH)_2$] sau oxidul de calciu (CaO). Calcarul dolomitic [$CaMg(CO3)_2$], care conține o cantitate semnificativă de magneziu, este clasificat ca făcând parte din a doua categorie.

Tabelul 1. Necesitățile optime de pH a unor plante [1].

Planta	**Valoarea țintă a pH-ului pentru aplicarea varului**
Porumb dulce	6.0
Soia	6.0
Bumbac	6.2
Asparagus	6.5
Fasole	6.0
Tomate	6.5
Trifoi	6.5
Măr	6.5
Căpșuni	6.0
Brad	5.5
Afine	4.5

Efectele aplicării varului asupra emisiei gazelor cu efect de seră

Neutralizarea în solurile acide are, de asemenea, unele efecte asupra mediului. Aceste efecte pot diferi în funcție de numeroase variabile. Gazele CO_2 și N_2O, care sunt gaze cu efect de seră ce provoacă încălzirea globală, sunt mai afectate de aplicațiile de calcar decât CH_4. Aceste efecte sunt rezumate în următoarele paragrafe.

Efectele aplicării varului asupra eliberării dioxidului de carbon din soluri

În ultimii ani, degradarea solului a devenit o amenințare majoră la scară globală. Se încearcă creșterea fertilității solului prin utilizarea unor agenți de remediere, cum ar fi varul, sulful, ghipsul și diverși compuși organici, pentru a îmbunătăți solul ca urmare a deteriorării acestuia. Deși pe de o parte aceste tehnici oferă îmbunătățiri, pe de altă parte, pot duce la diferite probleme de mediu. Efectele varului și calcarului asupra stocului de carbon din sol au început să devină o problemă din ce în ce mai importantă.

În general, efectul calcarului asupra concentrației de carbon din soluri variază în funcție de caracteristicile de mediu și de structura solului. Într-un studiu care a examinat efectele pe termen lung ale aplicării varului asupra conținutului de carbon din sol pe pajiști, s-a observat o rată mai mare de acumulare a carbonului organic în solurile calcaroase decât în solurile necalcaroase [11]. Acest lucru se datorează creșterii aportului de carbon datorat creșterii biomasei și intensificării activității biologice.

În funcție de aplicarea varului pe solurile acide, se pot observa creșteri ale cantității de CO_2 atmosferic [12]. S-a încercat explicarea acestei situații utilizând următoarea ecuație:

$$CaCO_3 + 2H^+ \longrightarrow Ca^{+2} + CO_2 + H_2O$$

Concentrațiile ionilor de calciu (Ca^{2+}) și bicarbonat (HCO^{3-}) din complexul de schimb cresc. Ca urmare, ionii Al^{3+} sunt înlocuiți cu ioni Ca^{2+} și are loc o creștere a pH-ului solului datorită scăderii hidrolizei acide a aluminiului. Între timp, dioxidul de carbon (CO_2) și apa (H_2O) sunt eliberate atunci când ionii de bicarbonat (HCO_3^-) care se formează reacționează cu ionii H^+ prezenți în sol. Ca urmare a acestor procese, H^+ provoacă aciditate în sol. Pe măsură ce concentrația scade, condițiile care împiedică

creșterea plantelor, cum ar fi toxicitatea cauzată de ionii de Al^{3+} și deficiența de Ca^{2+} sunt parțial eliminate [13].

Ca urmare, odată cu aplicarea varului pe solurile agricole, o parte din carbonatul conținut de aceste materiale este eliberat în atmosferă sub formă de CO_2. Varul agricol poate fi aplicat sub formă de calcit ($CaCO_3$) sau dolomit ($MgCa(CO_3)_2$). Într-un studiu menit să estimeze contribuția varului agricol la emisiile de dioxid de carbon în Statele Unite, s-a afirmat că emisiile nete de CO_2 rezultate din aplicarea varului agricol au fost de 0,059 Mg C pentru 1 Mg de calcit și de 0,064 Mg C pentru 1 Mg de dolomit [14]. În timp ce cercetătorii au raportat că aceste rate nu corespund factorilor de emisie dați de IPCC și anume 0,12 pentru calcit și, respectiv, 0,13 pentru dolomit, au fost raportate emisii anuale de 4,4 - 4,6 Tg CO_2 în SUA, în funcție de cantitățile de var aplicate.

Se afirmă că cantitatea de CO_2 eliberat în atmosferă ca urmare a aplicațiilor de calcit și dolomit în SUA constituie 1,7% din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră din agricultură și 0,13% din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră [15].

Într-un studiu efectuat în Brazilia pentru a calcula emisiile de CO_2 datorate calcarului aplicat terenurilor agricole, s-a raportat că cantitatea de emisii între 1990 și 2000 a variat între 4,9-9,4 Tg pe an, cu o medie de 7,2 Tg [16].

Ceea ce trebuie făcut pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră rezultate în urma calcarului este aplicarea de oxizi, cum ar fi varul viu (CaO) sau varul stins ($Ca(OH)_2$), în locul materialelor care conțin carbonați [17].

Eliberarea de oxid de azot de către solurile acide

La nivel mondial, solurile acide reprezintă majoritatea terenurilor arabile, creșterea plantelor fiind limitată de creșterea acidității. Metoda utilizată în cazul acestui tip de sol este, de obicei, aplicarea varului. Varul crește pH-ul și, în consecință, crește productivitatea solului. În plus, acesta afectează și emisiile de gaze cu efect de seră, în funcție de conținutul de carbon din sol și de ciclul elementelor. Într-o meta-analiză care a examinat efectele calcarului asupra fluxurilor de gaze cu efect de seră, au fost evaluate peste 1500 de observații raportate în rezultatele a 121 de studii, iar rezultatele acestora au fost rezumate [18]. Conform datelor evaluate în cadrul studiului, efectul calcarului asupra creșterii randamentului produselor a fost pozitiv având o valoare de 36%. Rata de creștere a stocurilor de carbon organic din sol a fost de 4,5% anual. Datorită aplicării varului s-a înregistrat o reducere de 21,3% a emisiilor de N_2O din soluri. Pe de altă parte, în orezării, s-a înregistrat o scădere cu 19% a eliberării de CH_4 datorată aplicării varului. Conform datelor obținute de cercetători în cadrul studiului, bugetul de gaze cu efect de seră constatat ca urmare a aplicării regulate a calcarului în solurile cu reacție acidă a fost următorul: anual, 0,60-0,67 Tg în emisiile de N_2O din soluri și 1,75-2,21 Tg în emisiile de CH_4 în câmpurile de orez, în timp ce s-a înregistrat o creștere a stocurilor de carbon organic, cantitatea estimată fiind de 66-110 Tg. Cu toate acestea, s-a afirmat că emisiile de CO_2 datorate calcifierii vor ajunge la 624-656 Tg valori anuale. Conform acestor rezultate, bilanțul gazelor cu efect de seră va fi neutru, subliniindu-se că aplicarea varului are potențial benefic ce depinde doar de creșterea producției.

Același studiu a afirmat că pierderile de azot și emisiile de N_2O în atmosferă au scăzut prin aplicarea varului, dar emisiile directe de CO_2 au crescut [19]. În studiu, s-a afirmat în plus că emisiile de gaze cu efect de seră generate de calcar sunt de aproximativ patru ori mai mari decât suma economisită prin reducerea emisiilor de N_2O .

În ciuda adaosului de materiale pe bază de calcar pentru îmbunătățirea solurilor acide, efectele modificărilor pH-ului solului asupra emisiilor de N_2O nu au fost pe deplin demonstrate ca urmare a adăugării acestor materiale [20]. În acest scop, cercetătorii au investigat posibilele efecte a patru

materiale diferite pe bază de calcar asupra eliberării de N_2O într-un sol cu un pH de 5,35. În cadrul studiului, dolomitul – $CaMg(CO_3)_2$, calcitul - $CaCO_3$, hidroxidul de calciu-$Ca(OH)_2$ și oxidul de calciu - CaO au fost utilizate ca materiale și, ca urmare a aplicării acestora s-a observat o scădere a eliberării de N_2O. În comparație cu alte aplicări, cea mai mare scădere a eliberării de N_2O a fost obținută în cazul aplicării $Ca(OH)_2$ fiind asociată cu o creștere mai mare a pH-ului. Conform rezultatelor obținute, s-a subliniat faptul că efectul asupra pH-ul solului a fost mai eficient decât dinamica C și N din sol în reducerea eliberării de N_2O.

Într-un studiu efectuat pentru a dezvălui efectele emisiilor de gaze cu efect de seră în zonele de agricultură fără semănat și cu aplicare de var, s-au observat emisii de N_2Oși CH_4 de la un sol acid cu drenaj insuficient. [21]. Conform rezultatelor studiului, în timp ce s-a aplicat var, emisiile de N_2O au scăzut cu 61% în zonele în care s-a realizat arătură convențională, neînregistrându-se nicio modificare în cazul terenurilor lucrate cu sistem no-tillage, subliniindu-se faptul că aceste practici pot îmbunătăți proprietățile fizice ale solului și, în același timp, reprezintă un instrument important pentru a reduce emisiile de N_2O și CH_4.

Emisiile de N_2O cresc odată cu aplicarea îngrășămintelor cu azot în timpul dezvoltării plantelor în regiunile semiaride, după ploile de vară; s-a efectuat un studiu care a urmărit modificările acestor emisii odată cu aplicarea de var în aceste regiuni [22]. În acest scop, cu un an înainte de experiment, pH-ul a fost mărit prin aplicarea varului și s-a format un sol cu două pH-uri diferite (4,21 și 6,34). În cadrul studiului, emisiile de N_2O s-au modificat de la 0 când solul era uscat, la 0,065 µg N_2ON g sol $uscat^{-1}$ $oră^{-1}$ după ce solul a fost umed, această situație fiind asociată cu denitrificarea și nitrificarea. Creșterea pH-ului solului a redus emisiile de N_2O doar atunci când pierderile au fost asociate cu nitrificarea. Pe baza rezultatelor, cercetătorii au propus creșterea pH-ului solului prin aplicarea de var pentru a reduce emisiile de N_2O în solurile semiaride cu proprietăți acide, în cazul în care emisiile provin din nitrificare.

În plus, efectul net al pH-ului solului asupra emisiilor de N_2O este adesea dificil de estimat [23] și poate varia în funcție de sursa de emisie [24]. Conform rezultatelor obținute într-un studiu care a examinat posibilele efecte ale calcarului asupra emisiilor de N_2O într-un sol cu proprietăți acide, emisiile cumulate de N_2O în timpul denitrificării au atins valori foarte ridicate în comparație cu condițiile de nitrificare [25]. Conform rezultatelor studiului, emisia de N_2O în timpul denitrificării a crescut semnificativ odată cu creșterea pH-ului solului.

Influența aplicării biocharului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră

Compușii organici bogați în carbon, rezistenți la descompunere și cu o structură poroasă obținută prin transformarea termo-chimică a biomasei în condiții de temperatură înaltă, lipsă de oxigen sau cu oxigen limitat sunt definiți ca biochar.

Deoarece biocharul produs este în mare parte alcalin, studiile efectuate până în prezent au fost în mare parte pe soluri acide. Biocharul a fost subiectul multor cercetări deoarece cauzează o creștere a disponibilității de nutrienți prin creșterea pH-ului solului atunci când este aplicat în mod similar cu varul.

Biocharul, care a devenit un condiționator de sol tot mai popular în ultimii ani, va aduce o contribuție semnificativă la reducerea încălzirii globale deoarece păstrează carbonul atmosferic în sol. Cu toate acestea, studiile au arătat că efectele aplicării de biochar pot varia în funcție de sol, plante și alți factori de mediu. De exemplu, într-un studiu care a examinat efectele aplicării biocharului asupra randamentului și emisiilor de gaze cu efect de seră în două zone diferite de cultură a orezului și grâului, s-a determinat că această practică a crescut eliberarea de CH_4 cu 37% în perioada de dezvoltare în câmpul de producție de orez, în timp ce adăugarea de biochar la grâu nu a afectat eliberarea de CH_4.

Mai mult, în funcție de aplicarea de biochar, emisiile de N_2O au scăzut cu 54% și 53% pentru orez și respectiv grâu, în timp ce ratele de creștere a producției au fost de 12% și respectiv 17%.

Există multe studii care examinează efectele aplicării de biochar asupra emisiilor de gaze cu efect de seră din sol. Într-o meta-analiză efectuată în acest scop, efectele aplicării biocharului asupra emisiilor de CO_2, CH_4 și N_2O au fost evaluate pe baza rezultatelor a 91 de articole efectuate în întreaga lume. Conform rezultatelor studiului, s-a raportat că în timp ce emisiile de CO_2 din sol au crescut cu 22% în funcție de tipul de biochar, emisiile de N_2O au scăzut cu 31%. Cu toate acestea, folosirea biocharului nu a avut niciun efect asupra emisiilor de CH_4 din sol.

Bibliografie

1. Crozier, C., Hardy, D. (2018). Soil Acidity and Liming: Basic Information for Farmers and Gardeners. NC State Extension Publications. https://content.ces.ncsu.edu/soil-acidity-and-liming-basic-information-for-farmers-and-gardeners#section_heading_7189 (Access date: 05.07.2023).
2. Robson, A. (Ed.). (2012). Soil acidity and plant growth. Elsevier
3. Baligar, V.C., Fageria, N.K., He, Z.L., (2001). Nutrient use efficiency in plants. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32, 921–950.
4. Petersen, E., (2015). Economic Analysis of the Impacts and Management of Subsoil Constraints. Report for the Grains Research and Development Corporation Funded Project: DAW00242 Subsoil Constraints-Understanding and Management. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia. https://agric.wa.gov.au/n/5226 (accessed 7 July 2023).
5. Wang, Y., Yao, Z., Zhan, Y., Zheng, X., Zhou, M., Yan, G., Butterbach-Bahl, K. (2021). Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security. Global Change Biology, 27(12), 2807–2821. doi:10.1111/gcb.15607
6. Guo, J., Liu, X., Zhang, Y., Shen, J., Han, W., Zhang, W., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M., Zhang, F. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands significant acidification in major Chinese croplands. Science, 327, 1008–1010. https://doi.org/10.1126/science.1182570
7. Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P.C., Xu, J. (2017). Potential role of biochars in decreasing soil acidification – A critical review. Science of the Total Environment, 581–582, 601–611. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169
8. Özyazıcı, G., Özdemir, O., Özer, S.P., Kalcıoğlu, Z., (2014). Calcification material Aspect Used Sugar Industry waste slam Tea of the plant Yield , Quality and Soil What properties effect. Turk J Agric Res (2014) 1: 43-54 TUTAD ISSN: 2148-2306.
9. Anderson, N.P., Hart, J.M., Sullivan, D.M., Christensen, N.W., Horneck, D.A., Pirelli, G.J. (2013). Applying lime to raise soil pH for crop production (Western Oregon).
10. Kacar , B. (1984). Herb feeding . Ankara University . Agriculture fac . Arrow. No: 899, p. 169-175.
11. Fornara , D.A., Steinbeiss , S., McNamara, N.P., Gleixner , G., Oakley, S., Poulton , P.R., Bardgett , R.D. (2011). Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. Global Change Biology, 17(8), 2762–2762. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02445.x
12. Majumder, S.P., Krishna Chaitanya, A., Datta, A., Padhan, D., Badole, S., Mandal, B. (2018). Dynamics of Carbon and Nitrogen in Agricultural Soils: Role of Organic and Inorganic Sources. Soil Management and Climate Change, 151–169. doi:10.1016/b978-0-12-812128-3.00011-2
13. Kalkhoran, S.S., Pannell, D.J., Thamo, T., White, B., Polyakov, M. (2019). Soil acidity, lime application, nitrogen fertility, and greenhouse gas emissions: Optimizing their joint economic management. Agricultural Systems, 176, 102684. doi:10.1016/j.agsy.2019.10268

14. West, T.O., McBride, A.C. (2005). The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: dissolution, transport, and net emissions. Agriculture, Ecosystems & Environment, 108(2), 145–154. doi:10.1016/j.agee.2005.01.002
15. EPA, 2004. Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2002, EPA 430-R-04-003. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
16. Bernoux, M., Volkoff, B., Carvalho, M., Also, C.S., Cerri, C.C. (2003). CO_2 emissions from liming of agricultural soils in Brazil. Global Biogeochemical Cycles, 17(2), n/a–n/a. doi:10.1029/2001gb001848
17. Kayıkçıoğlu, H.H., Okur, N., (2012). Greenhouse gas in the release agriculture role. Adnan Menderes University . zir . fac . Magazine , 9(2): 25-38
18. Wang, J., Pan, X., Liu, Y ., Zhang, X., Xiong, Z., (2012). Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production. Plant and Soil, 360, 287–298 (2012)
19. Gibbons, J.M., Williamson, J.C., Williams, A.P., Withers, P.J.A., Hockley, N., Harris, I.M., Healey, J.R. (2014). Sustainable nutrient management at field, farm and regional level: Soil testing, nutrient budgets and the trade-off between lime application and greenhouse gas emissions. Agriculture, Ecosystems & Environment, 188, 48–56. doi:10.1016/j.agee.2014.02.016
20. Shaaban, M., Wu, Y., Wu, L., Hu, R., Younas, A., Nunez-Delgado, A., Jiang, Y. (2020). The Effects of pH Change through Liming on Soil N_2O Emissions. Processes, 8(6), 702. doi:10.3390/pr8060702
21. García-Marco, S., Abalos, D., Espejo, R., Vallejo, A., Mariscal -Sancho, I. (2016). No tillage and liming reduce greenhouse gas emissions from poorly drained agricultural soils in Mediterranean regions. Science of The Total Environment, 566, 512-520.
22. Barton, L., Gleeson, D.B., Maccarone , L.D., Zúñiga , L.P., Murphy, D.V. (2013). Is liming soil a strategy for mitigating nitrous oxide emissions from semi-arid soils ? Soil Biology and Biochemistry, 62, 28-35.
23. Page, K.L., Allen, D.E., Dalal , R.C., Slattery, W., (2009). Processes and magnitude of CO_2, CH_4, and N_2O fluxes from liming of acidic Australian soils: a review. Australian Journal of Soil Research 47, 747e762.
24. Clough, T.J., Kelliher , F.M., Sherlock, R.R., Ford, C.D. (2004). Lime and soil moisture effects on nitrous oxide emissions from a urine patch. Soil Science Society of America Journal 68, 1600e1609.
25. Feng, K., Yan, F., Hütsch , B.W., Schubert, S. (2003). Nitrous oxide emission as affected by liming an acidic mineral soil used for arable agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67, 283-292.
26. Gunal, M, Erdem, H., (2018). Biochar ; Definition , Usage and Agriculture in their land Effects . ADÜ ZİRAAT JOURNAL, 2018;15(2):87-93 — doi : 10.25308/aduziraat.405858
27. He, Y., Zhou, X., Jiang, L., Li, M., Du, Z., Zhou, G., Xu, C. (2016). Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: a meta-analysis. GCB Bioenergy, 9(4), 743–755. doi:10.1111/gcbb.12376

Facilitarea sustenabilității fertilizării prin perspectiva schimbărilor climatice

Odată cu creșterea rapidă a populației, consumul de alimente a crescut și el. Creșterea producției agricole a dus la o creștere semnificativă a utilizării inputurilor agricole. Scopul principal actual al celor care produc produse agricole este să obțină o cantitate și calitate cât mai ridicate a produselor pe care le pot oferi. Pentru a atinge acest obiectiv, îngrășămintele sunt unul dintre cele mai importante inputuri utilizate în agricultură. Îngrășămintele chimice sunt larg utilizate în prezent. Cantitățile de îngrășăminte pe bază de azot, fosfor și potasiu utilizate în producția agricolă la nivel mondial în ultimii ani sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Consumul global anual de îngrășăminte pe bază de azot, fosfor și potasiu [1].

Anul	**Fertilizator pe bază de azot (N)**	**Fertilizator pe bază de fosfor (P_2O_5)**	**Fertilizator pe bază de potasiu (K_2O)**
2017	109 923 828	44 807 567	38 872 528
2018	108 795 192	44 456 769	38 961 263
2019	105 111 079	44 119 119	36 995 315
2020	110 541 659	48 364 923	39 024 540
2021	108 688 168	46 269 708	40 128 174

Pe lângă îngrășămintele chimice, îngrășăminte organice sunt, de asemenea, importante în producția agricolă. Conform datelor din 2020, aproape 28 miliarde de tone de gunoi de grajd au fost utilizate la nivel mondial [1]. Cu toate că utilizarea îngrășămintelor ia amploare rapid, există probleme foarte importante legate de utilizarea eficientă a îngrășămintelor. Se știe că eficiența utilizării îngrășămintelor rămâne la rate foarte scăzute, fapt dovedit de multe studii efectuate până în prezent în întreaga lume. O fertilizare reușită ar trebui să fie măsurată prin asigurarea necesităților nutriționale ale plantelor pe parcursul perioadelor lor de dezvoltare, precum și prin capacitatea de a face acest lucru într-un mod care să producă un minim de daune mediului înconjurător. Din nefericire, în prezent ne confruntăm cu probleme grave de mediu, mai ales datorită utilizării incorecte și excesive a îngrășămintelor.

O parte semnificativă a gazelor cu efect de seră care cauzează încălzirea globală sunt eliberate în atmosferă ca rezultat al activităților agricole. Emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură constau în mare măsură din gazele metan (CH_4) și oxidul nitric (N_2O). Emisiile semnificative de gaze cu efect de seră sunt eliberate în atmosferă datorită îngrășămintelor. Conform datelor din 2020, 13% din gazele eliberate în atmosferă ca urmare a activităților agricole se datorau îngrășămintelor sintetice și gunoiului animal aplicate în agricultură [1].

Tabelul 2. Modificările de-a lungul timpului a emisiilor de gaze cu efect de seră din activități agricole [1].

Sursa emisiei	Cantitatea emisă (Kilotone CO_2 echivalent)							Rata de creștere (%)*
	1961	**1970**	**1980**	**1990**	**2000**	**2010**	**2020**	
Fermentație enterică	1829661	2069925	2320767	2493671	2473802	2654500	2849716	56
Orezării	487941	560752	609831	620854	653281	682752	686111	41
Îngrășăminte sintetice	63209	174069	334374	425288	446178	559822	625107	889

**Ratele de creștere se bazează pe cantitățile din 2020 în comparație cu cele din 1961.*

Rata de creștere a emisiilor agricole din cauza utilizării îngrășămintelor chimice a ajuns la nivele mult mai ridicate de-a lungul timpului în comparație cu alte surse de emisii. Tabelul 2 arată evoluția emisiilor de gaze cu efect de seră datorate diferitor activități agricole de-a lungul anilor. În ultimii 60 de ani, creșterea cantității de emisii cauzate de îngrășămintele chimice a crescut de aproximativ de 10 ori.

Efectele folosirii îngrășămintelor asupra mediului

Emisiile de gaze cu efect de seră din agricultură constau în mare măsură din oxidul nitric (N_2O) și gazul metan (CH_4). Deși aceste gaze sunt mai puțin abundente în atmosferă decât CO_2, ele au un potențial mai mare de încălzire globală. În cadrul Panelului pentru Schimbările Climatice Globale s-a menționat că, pe o perioadă de 100 de ani, masele unitare ale gazelor CH_4 și N_2O au un potențial de încălzire globală de 25, respectiv 298 de ori mai mare decât gazul CO_2. Moleculele de oxid nitric pot rămâne în atmosferă timp de aproximativ 114 ani [2]. La nivel global, deși unele dintre emisiile de N_2O pătrund în atmosferă în mod natural, o cantitate semnificativă de emisii are loc datorită activităților umane [3]. În timp ce emisiile umane de N_2O sunt în mare parte cauzate de activitățile agricole, utilizarea îngrășămintelor azotoase are cea mai mare pondere în aceste activități. Cele două modalități principale prin care este produs N_2O în solurile agricole sunt nitrificarea și denitrificarea. În plus față de îngrășămintele sintetice, îngrășămintele de origine animală au și ele o pondere semnificativă cauzând aproximativ 22% din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră din agricultură [1].

Efectele negative ale îngrășămintelor asupra mediului nu se limitează la contribuția la emisiile de gaze cu efect de seră. Acestea pot cauza, de asemenea, diferite probleme de mediu, în special din cauza utilizării excesive. Unele dintre cele mai importante sunt menționate mai jos.

Poluarea apelor subterane cu nitrați

Apele subterane sunt folosite ca sursă de apă potabilă în multe părți ale lumii. Cei mai importanți factori care amenință sănătatea umană în apa potabilă sunt poluarea microbiologică și poluarea cu nitrați. În prezent, îngrășămintele sunt unul dintre factorii principali care cauzează poluarea cu nitrați în apa subterană. Deși îngrășămintele azotoase conțin direct nitrați, toți compușii pe care îi conțin se pot transforma ușor în nitrați după aplicare. Azotul aplicat în sol și neutilizat de plante nu este reținut de sol și se deplasează odată cu apa, în special după ce se transformă în nitrați. Acesta este principalul factor în contaminarea apei subterane cu nitrați. Se estimează că 2-10% din îngrășămintele azotoase aplicate în sol se amestecă cu apele de suprafață sau cu apa subterană. Amestecarea nitraților în soluri și ulterior în apele de suprafață și subterane nu se produce exclusiv din cauza utilizării îngrășămintelor chimice cu azot. O cantitate semnificativă de azot este adăugată solului prin utilizarea îngrășămintelor organice. Nitrații formați ca rezultat al mineralizării produc aceleași daune ecologice.

Acumularea de nitrați în plante

La fel cum nitrații reprezintă o problemă în apele de suprafață și subterane, aceștia pot prezenta un pericol și dacă depășesc un anumit nivel în plante. Azotul este unul dintre elementele acumulat în cantitate mare de către plante, iar acestea conțin în mod natural cantități mari de azot. Plantele folosesc acest azot în sinteza unor compuși, în special a proteinelor. Cu toate acestea, uneori, din cauza consumului excesiv de îngrășăminte azotate, nivelul de azot absorbit de plante crește putând apărea acumularea de nitrați în plante. Această situație reprezintă o problemă mai ales în cazul speciilor de legume ale căror frunze sunt comestibile.

Nitratul absorbit prin apa potabilă și alimente se transformă în organismele vii mai întâi în nitriți și apoi formează nitrozamine, compuși care sunt, de asemenea, toxici, mutageni și cancerigeni [5].

Formarea salinității în soluri

Salinitatea solului reprezintă acumularea în sol de săruri solubile în apă sub diferite forme. Aceasta poate apărea în mod natural sau artificial. Salinitatea naturală apare în special în regiunile aride și semiaride. În aceste zone, sărurile solubile amestecate cu apele subterane prin levigare sunt

transportate în straturile superioare ale solului prin capilaritate, iar apoi, ca urmare a evaporării, apa trece în atmosferă și sărurile rămân. Salinitatea creată în sol prin mijloace artificiale este cauzată în principal de irigații și fertilizare. Mai ales în zonele în care cultivarea este intensivă, salinitatea din sol crește de-a lungul timpului din cauza necesității utilizării unor cantități mari de îngrășăminte. Acest proces este accelerat și mai mult dacă fertilizarea este aplicată împreună cu irigarea prin picurare. În metoda de irigare prin picurare este irigată o suprafață mai mică și nu întregul sol. Prin urmare, în această suprafață mică are loc o concentrare mai intensă a îngrășămintelor (Figura 1).



Figura 1. Acumulare de sare pe suprafața solului ca rezultat al utilizării fertilizatorilor (Sursa: West Coast Nut, https://www.wcngg.com).

Salinitatea este una dintre cele mai importante proprietăți ale solului care limitează creșterea plantelor în producția agricolă. Salinizarea solului afectează în mod negativ absorbția apei și a nutrienților de către plante. Datorită creșterii concentrației de sare în zona rădăcinilor plantelor, crește presiunea osmotică, absorbția apei de către plantă devenind dificilă. În plus, apar efecte toxice din cauza creșterii concentrației unor ioni și apariției stresului salin la plante [6]. Îngrășămintele produc diferit creșterea salinității. Concentrația de sare produsă de un îngrășământ în soluția solului dă valoarea indicelui de salinitate al acestuia. Valorile indicelui de salinitate ale unor îngrășăminte azotate sunt prezentate în Tabelul 3. În special în zonele în care salinitatea reprezintă o problemă, ar trebui să se prefere îngrășămintele cu un indice de salinitate mai mic.

Tabelul 3. Valori ale indexului de salinitate al diferitelor îngrășăminte [7].

Nume	Concentrația substanței active (%)	Index de salinitate	Index de salinitate per unitate de produs agricol*
Amoniu anhidru	82 N	47,1	0,57
Nitrat de amoniu	34 N	104	3,06
Sulfat de amoniu	21 N, 24 S	68,3	3,25
Uree	46 N	74,4	1,62

**O unitate este echivalentă cu 9 kg*

Eutrofizarea

Eutrofizarea poate fi definită ca fiind intensificarea vieții acvatice în ape datorită creșterii unor elemente nutritive ale plantelor, rezultând în scăderea calității apei și deteriorarea habitatelor

acvatice. Îngrășămintele folosite în producția agricolă se amestecă cu apele de suprafață sau subterane dacă sunt folosite în exces. Îngrășămintele care se amestecă cu apa, în special cele care conțin azot și fosfor, sunt cei mai importanți poluanți care produc eutrofizarea . Deși eutrofizarea este întâlnită mai ales în zone precum lacurile și iazurile, ea poate fi observată uneori în râuri și mări (Figura 2).



Figura 2. Eutrofizarea apei (http://mk.uni-pannon.hu/).

Datorită creșterii cantității de elemente nutritive, densitatea fitoplanctonului, a algelor și a unor plante acvatice din apă crește. Atunci când mor, acestea formează un sediment pe fundul apei și sunt descompuse de microorganisme. Între timp, cantitatea de oxigen dizolvat în mediu scade rapid din cauza consumului intens de oxigen. Acest lucru provoacă moartea altor creaturi acvatice, în special a peștilor, și o scădere a calității apei.

Creșterea eficienței utilizării îngrășămintelor

Îngrășămintele, unul dintre cele mai importante inputuri ale agriculturii, au o eficiență limitată din cauza utilizării lor necorespunzătoare. Tipul de îngrășăminte cel mai des folosit în producția de plante sunt cele azotoase. Acest lucru constituie principala sursă de emisii de N_2O din solurile agricole către atmosferă. Pe lângă faptul că duc la producerea de gaze cu efect de seră, aceste îngrășăminte joacă un rol important în multe probleme de mediu, așa cum s-a menționat anterior. Prin urmare, utilizarea acestor îngrășăminte va continua să prezinte riscuri semnificative pentru mediu dacă nu li se ia în considerare utilizarea.

Cel mai important aspect pentru o fertilizare reușită este satisfacerea necesităților nutriționale ale plantei pe întreaga sa perioadă de dezvoltare, fără a provoca în același timp daune semnificative ecosistemului. Eficiența utilizării îngrășămintelor poate fi definită ca abilitatea plantelor de a utiliza la un nivel optim elementele nutritive de care au nevoie pentru o dezvoltare sănătoasă sau abilitatea de a produce părți de plante la un nivel maxim [8].

Deși utilizarea eficientă a azotului depinde de tipul de aplicare și factori de mediu, acest tip de îngrășământ este utilizat în lume în proporție de 25-40% [9]. Câțiva dintre factorii care duc la reducerea eficienței îngrășămintelor și ratele corespunzătoare sunt prezentați în Tabelul 4.

Modul în care se poate obține o producție durabilă în agricultură este prevenirea utilizării excesive a îngrășămintelor prin creșterea eficienței utilizării acestora și concentrarea asupra practicilor care vor păstra fertilitatea solului pe termen lung.

Tabelul 4. Câțiva din factorii care duc la reducerea eficienței îngrășămintelor [10].

Factori	Rata de reducere (%)
Substrat pentru semințe nepotrivit	10-20
Varietăți de plante necorespunzătoare	20-40
Însămânțare-plantare târzie	20-40
Udare insuficientă	10-25
Boli	15-20
Dăunători	5-50
Utilizarea excesivă și inutilă a fertilizatorilor	20-50

Aplicarea corectă a programelor de fertilizare

Utilizarea excesivă și nejustificată la nivel global a îngrășămintelor în producția agricolă este una dintre cele mai importante probleme care așteaptă rezolvare. Pentru a realiza o fertilizare corectă, este foarte important să se cunoască necesitățile nutritive ale plantelor care urmează să fie cultivate. În plus, atunci când se creează programe de nutriție pentru plante trebuie cunoscute și proprietățile solului. În caz contrar, este foarte dificil să se determine cantitatea corectă și tipul adecvat de îngrășământ care trebuie aplicat. Pierderile de recoltă apar din cauza aplicării de îngrășăminte sub necesitățile plantei. În plus, aplicarea excesivă a îngrășămintelor nu numai că deteriorează productivitatea și calitatea, dar afectează și mediul înconjurător. Singura modalitate de a determina cu exactitate cantitatea și tipul de îngrășământ ce trebuie folosit este să se utilizeze analiza solului și a frunzelor. Probele de sol trebuie prelevate înainte de semănat sau plantare și la începutul sezonului de creștere pentru plantele perene.

Aplicațiile de gunoi de animale sau alte metode de fertilizare organică sunt metode utilizate frecvent. Astfel de practici sunt foarte importante în ceea ce privește satisfacerea necesității de nutrienți a plantelor. Dacă fertilizarea într-o zonă va fi combinată cu gunoi de grajd, trebuie efectuată și o analiză a gunoiului înainte de realizarea fertilizării. Cantitatea de îngrășământ utilizat ar trebui ajustată corespunzător prin calcularea conținutului de nutrienți prezenți în gunoiul de grajd necesari plantelor.

La aplicarea fertilizării cu azot, îngrășământul ar trebui împărțit în doze, având în vedere perioadele de dezvoltare ale plantei, iar planurile de fertilizare ar trebui să fie susținute de o gestionare adecvată a irigației. Rămânerea la suprafața solului sau infiltrarea adâncă a îngrășământului de azot aplicat ca rezultat al irigației reduc eficiența utilizării îngrășământului și provoacă probleme semnificative de mediu.

Tabelul 5. Pierderi de N estimate datorită denitrificării în funcție de temperatura solului și saturarea cu apă a acestuia.

Temperatura solului (C^o)	Numărul de zile saturate cu apă	Pierderea de azot (% din azot aplicat)
13-16	5	10
	10	25
24-27	3	60
	5	75
	7	85
	9	95

Când se utilizează azot, este important să se aplice îngrășământul la momentul potrivit, ținând seama de prognozele meteorologice locale pentru a preveni posibilele pierderi de azot. Pierderea de azot din

sol crește proporțional odată cu creșterea temperaturii solului și a saturării cu apă a solului. Relația dintre factorii climatici și pierderea de azot ar trebui luată în considerare în gestionarea solurilor agricole. Această situație poate fi observată în Tabelul 5 [11].

Utilizarea îngrășămintelor care produc emisii reduse

Una dintre cele mai mari surse de emisii de gaze cu efect de seră în agricultură este utilizarea îngrășămintelor. Prin urmare, cunoașterea efectelor diferitelor tipuri de îngrășăminte asupra ratei emisiilor și alegerea îngrășămintelor potrivite pot contribui la reducerea emisiilor. În acest scop, într-un studiu efectuat în China, au fost comparate cantitățile de gaze cu efect de seră emise de diferitele tipuri de îngrășăminte, încercându-se determinarea îngrășămintelor cu emisii și costuri reduse [12]. Conform datelor obținute, atunci când nu sunt luate în considerare emisiile directe de N_2O din câmp, emisiile provenite din îngrășăminte au constituit 48% din totalul emisiilor rezultate din producție. Cercetătorii au afirmat că reducerea emisiilor provenite din îngrășăminte este o măsură necesară și prioritară, și în conformitate cu rezultatele lor, au declarat că bicarbonatul de amoniu, superfosfatul de calciu și clorura de potasiu sunt îngrășămintele cu cele mai scăzute emisii de gaze cu efect de seră. S-a subliniat că se va obține o scădere cu 49% a cantității de emisii prin utilizarea acestor îngrășăminte.

Spre deosebire de alte îngrășăminte azotoase, atunci când este aplica îngrășământul ureic, este eliberat CO_2-ul adăugat în timpul procesului de producție industrială. Ureea (CH_4N_2O) se transformă în ioni de amoniu (NH_4^+), hidroxil (OH^-) și bicarbonat (HCO_3^-) în prezența apei și a enzimelor ureaze. Bicarbonatul format ca rezultat al reacției este separat în CO_2 și H_2O după adăugarea de var și astfel CO_2-ul este eliberat din sol [13].

Problema contribuției diferitelor tipuri de îngrășăminte la emisiile de gaze cu efect de seră în solurile cu caracteristici diferite ar trebui să fie mai intens studiată, o atenție deosebită necesitând alegerea îngrășămintelor care cauzează mai puține emisii în acele regiuni.

Creșterea conținutului de material organic în sol

Managementul corect al nutriției plantelor în zonele agricole ar trebui să fie luat în considerare împreună cu reținerea carbonului organic din sol. În general, utilizarea îngrășămintelor organice și a compostului îmbunătățește stocarea carbonului organic în sol mai mult decât utilizarea îngrășămintelor anorganice. Atunci când cantitatea de materie organică din sol este scăzută, sănătatea solului este afectată, iar productivitatea scade. Pe de altă parte, creșterea cantității de carbon organic în sol este și o modalitate de a crește sechestrarea carbonului, deoarece crește capacitatea ecosistemelor agricole de a absorbi CO_2-ul atmosferic și de a-l stoca în sol [14]. Arderea resturilor vegetale după recoltare și utilizarea excesivă a îngrășămintelor chimice duc la scăderea resurselor biologice, ceea ce slăbește capacitatea potențială a ecosistemului agricol ca sursă de carbon putând duce, în același timp, la o creștere a emisiilor cauzate de fertilizare.

Într-un studiu realizat în acest scop, resturile culturilor au fost compostate cu gunoi de bovine și fiind încercate diferite aplicații în rotația de grâu de iarnă și porumb [15]. În studiu, au fost încercate patru tipuri diferite de îngrășăminte: 100% gunoi de grajd provenind de la bovine, 100% azot mineral, 75% gunoi de bovine + 25% azot mineral și 50% gunoi de bovine + 50% azot mineral. Conform rezultatelor obținute, s-a constatat că înlocuirea îngrășămintelor chimice cu îngrășăminte organice a redus semnificativ emisiile de gaze cu efect de seră, iar producția de grâu și porumb a crescut odată cu adăugarea de gunoi de grajd. Cercetătorii au subliniat că dacă îngrășământul chimic este înlocuit cu îngrășământ organic, ecosistemul agricol va deveni o sursă de carbon și emisiile de gaze cu efect de seră vor scădea.

Utilizarea fertilizatorilor cu eficiență îmbunătățită (enhanced-efficiency fertilizers - EEFs)

Creșterea eficienței îngrășămintelor, minimizarea pierderilor posibile în sol și asigurarea că plantele beneficiază mai mult de nutrienții pe care îi conține solul au devenit metode larg preferate în ultimii ani. Aceste îngrășăminte, care sunt în general denumite îngrășăminte cu eficiență îmbunătățită (EEF-uri), sunt definite ca "produse de fertilizare care au proprietăți ce duc la creșterea absorbției de nutrienți de către plante și reduc pierderile acestora" [16]. Pentru obținerea acestor produse care își propun să crească eficiența îngrășămintelor azotoase, sunt utilizate diferite metode precum acoperirea, încapsularea și adăugarea de inhibitori. Îngrășămintele cu eliberare lentă și controlată și îngrășămintele cu inhibitori nu numai că au o eficiență mai mare în utilizarea azotului, dar au și potențialul de a reduce emisiile de N_2O rezultate din fertilizare.

Deși este clar că includerea unor astfel de îngrășăminte în programele de nutriție a plantelor este importantă pentru a crește eficiența în producție și a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, pare a fi necesar să existe subvenții ale costurilor implicate.

Îngrășăminte microbiene

Folosirea intensivă a substanțelor chimice în agricultură pentru a satisface cererea crescută de alimente în lume cauzează probleme de mediu tot mai mari. Este absolut necesar să ne orientăm către inputuri alternative pentru o producție mai durabilă. Unul dintre acestea este îngrășământul microbian.

Microorganismele fixează azotul atmosferic în sol atunci când acesta este aplicat semințelor sau solului, promovează creșterea vegetativă prin creșterea disponibilității nutrienților pentru plante sau prin producerea de metaboliți secundari. Materialul constând din microorganismele care trăiesc în rizosferă și care pot coloniza sau intra în țesuturile plantelor este numit îngrășământ biologic [17]. Această categorie de îngrășăminte, care constă în principal din bacterii fixatoare de azot atmosferic, include și bacterii care dizolvă fosfatul și produc hormoni. Bacteriile folosite ca îngrășământ biologic sunt în general denumite rizobacterii promotoare ale creșterii plantelor. În studiile efectuate până în prezent, s-a observat că speciile aparținând în special genurilor *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Bacillus* și *Paenibacillus* ies în evidență ca specii promotoare ale creșterii plantelor [18].

Deși adesea nu este suficientă simpla lor utilizare, folosirea îngrășămintelor microbiene poate reduce utilizarea intensivă a îngrășămintelor chimice. În general, bacteriile active izolate din sol pot fi aplicate cu succes, având în vedere eficiența și adaptabilitatea lor la mediul în care sunt aplicate.

Beneficii ale fertilizării rezultate din tehnologiile de agricultură de precizie

Una dintre aplicațiile care au devenit din ce în ce mai prevalente în agricultură în ultimii ani este tehnica de agricultură de precizie. Este o aplicație care a apărut ca rezultat al integrării inovațiilor în tehnologiile agricole, oferind avantaje semnificative, în special în întreprinderile de mari dimensiuni. Agricultura de precizie adoptă o metodă bazată pe aplicații la nivel variabil pentru zone cu caracteristici diferite, în loc să aplice același tratament întregii zone cultivate.

Aplicarea fertilizantului cu rată variabilă este una dintre aplicațiile din agricultura de precizie, metodă care a devenit frecvent preferată în ultimii ani, în special în aplicarea îngrășămintelor azotoase. Există în principal două metode utilizate în realizarea aplicațiilor de fertilizare cu rată variabilă:

- Una dintre acestea este aplicația cu rată variabilă bazată pe hărți, care folosește hărți obținute din parametri măsurați în câmp.

- Cealaltă metodă este aplicația cu rată variabilă bazată pe senzori. Nu există cartografiere în aplicația bazată pe senzori, dar măsurătorile se iau în mișcare prin intermediul senzorilor în timp real, pe baza caracteristicilor solului sau plantei. Datele obținute din aceste măsurători sunt trimise la aplicatorul cu rată variabilă și aplicarea este efectuată (Figura 3).

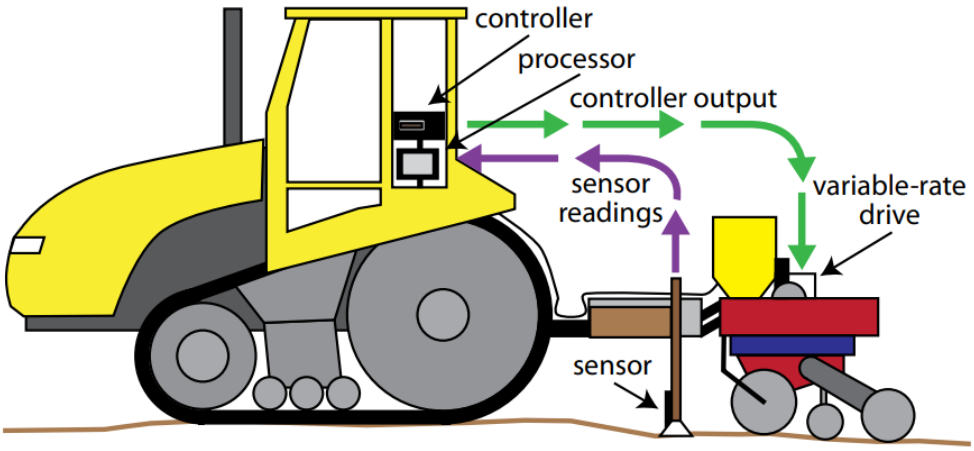


Figura 3. Componentele aplicației cu rată variabilă bazată pe senzori [19].

Scopul principal al ambelor metode este de a ajusta cantitatea de îngrășământ folosită pe baza variațiilor parametrilor sol – plantă, mai degrabă decât aplicare uniformă pe întreg terenul.

Bibliografie

1. FAO, (2023). FAOSTAT, Food Oath Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#data, (Acces date : 16.08.2023).
2. IPCC, (2007) Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth AssessmentReport of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt, M., Tignor and H.L., Miller (eds.)]. Cambridge University Press , Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp .
3. IPCC, (2013). Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y. , Bex, V. and Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1585 pp .
4. Sönmez, İ., Demir, H., (2011). Agricultural Nitrate Pollution and Its Negative Effects. 1st Ali Numan Kıraç Agricultural Congress and Fair with International Participation, 27-30 April, 2011, Proceedings Book: 287-294, Eskişehir.
5. Ekici, K., Alişarlı M., Sancak, Y.C., (2008). “Nitrate and nitrosamines in cheese varieties ”, YYÜ. Journal of the Faculty of Veterinary Medicine. 2:71-72
6. Gürel, A., Avcıoğlu, R., (2001). “Stress Resistance Physiology in Plants”, chapter 21, Editors: Özcan, S., Gürel, E., Babaoğlu, M., ''Plant Biotechnology II, Genetic Engineering and Applications'', Selçuk University Foundation Publications, 308-313.
7. Mortvedt, J.J., (2001). Calculating Salt Index. Fluid Journal. 9(2):8-11.
8. Blair, G., (1993). Nutrients efficiency - What do we do really mean ? In: PJ Randall et al. (Eds.), Genetics Aspects of Plant Mineral Nutrition. Proc. 4th Int. Symp. of Genetics Aspects of Plant Mineral Nutrition , pp.205-13, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, The Netherlands .

9. Lenka, S., Rajendiran, S., Vassanda Coumar, M., Dotaniya, M.L., Saha, J.K., (2016). Impact of Fertilizers use on Environmental Quality. Souvenir of National Seminar on " Environmental concern for fertilizer use in future " at Bidhan chandra Krishi Viswavidyalaya , Kalyani on February 26, 2016. (Acces date: 10.04.2019).
10. Karaman, M.R., Turan, M. (2012). Sustainable Management Strategies oath Fertilizer Efficiency Parameters in Plant Nutrition. Soil Water Journal, 1(1), 15-21.
11. Anonymous, (2017). Code of Good Agricultural Practices. Good for Preventing Nitrate Pollution in Waters Caused by Agricultural Activities Agriculture Communiqué on the Code of Practices, COMMUNIQUE NO: 2016/ 46, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/02/20170211-12.htm, (Acces date: 21.08.2023).
12. Wang, Z.B., Chen, J., Mao, S.C., Han, Y.C., Chen, F., Zhang, L.F., Li, C.D. (2017). Comparison of greenhouse gas emissions of chemicals fertilizer types in China's crop production. Journal of Cleaner Production, 141, 1267-1274.
13. Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems oath fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment, 133: 247–266
14. Elbasiouny, H., El- Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V.D., Minkina, T., Mandzhieva, S., (2022). Plant nutrition below climate change oath soil carbon sequestration. Sustainability, 14, 914. https://doi.org/10.3390/su14020914
15. Liu, H., Li, J., Li, X., Zheng, Y., Feng, S., Jiang, G. (2015). Mitigating greenhouse gas emissions through replacement of chemicals fertilizer with organic manure in a temperate farmland. Science Bulletin , 60(6), 598-606.
16. Association of Americans plants Food Control Officials, (2013). AAPFCO Official Publication 65. AAPFCO, Little Rock , AR.
17. Çakmakçı, R., (2005). Use of Rhizobacteria in Agriculture to Promote Plant Growth. Atatürk University Faculty of Agriculture Journal; 36(1): 97-107.
18. Çakmakçı, R., (2014). "Effect Mechanisms and Properties of Microorganisms That Can Be Used as Microbial Fertilizer, " Microbial Fertilizer Workshop, 23-24 October, Kastamonu, TC Ministry of Food, Agriculture and Livestock, 60th Anniversary. Directorate of Soil Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, ILgaz /Kastamonu, Turkey , pp.5-17, 2014
19. Grisso, R., Alley, M., Thomason, W., Holshouse, D., Roberson, G. T. (2011). Precision farming tools: variable-rate application. Virginia Cooperative Extension, 442-505.

Combaterea defrișării, deșertificării și eroziunii

Schimbările climatice reprezintă în prezent una dintre cele mai importante probleme de mediu la nivel global. Din cauza creșterii ratelor de emisie a gazelor cu efect de seră în atmosfera Pământului, temperaturile medii de suprafață cresc, ceea ce poate provoca dezastre de mediu. Cu toate acestea, în paralel cu creșterea semnificativă a populației, a apărut și o scădere graduală a pădurilor, zonelor de pășuni și zonelor agricole.

Defrișările, deșertificarea și eroziunea sunt printre cele mai importante probleme de mediu cu care ne confruntăm în prezent. Acestea au strânsă legătură cu schimbările climatice influențându-se reciproc. Cu toate că dimensiunea acestor probleme crește din cauza efectelor schimbărilor climatice, este vital să prevenim defrișările, deșertificarea și eroziunea pentru a preveni schimbările climatice.

Defrișarea

Raportul de evaluare a Resurselor Forestiere Globale (FRA) este pregătit la fiecare cinci ani de către FAO (Organizația pentru Alimentație și Agricultură). Conform ultimului raport pregătit și publicat în 2020, totalul suprafeței de pădure din întreaga lume este de 4,06 miliarde de hectare [1]. Aceasta corespunde la o treime din suprafața totală a terenului. 20% din pădurile lumii se află în Federația Rusă, urmată de Brazilia, Canada, Statele Unite și China (Figura 1).

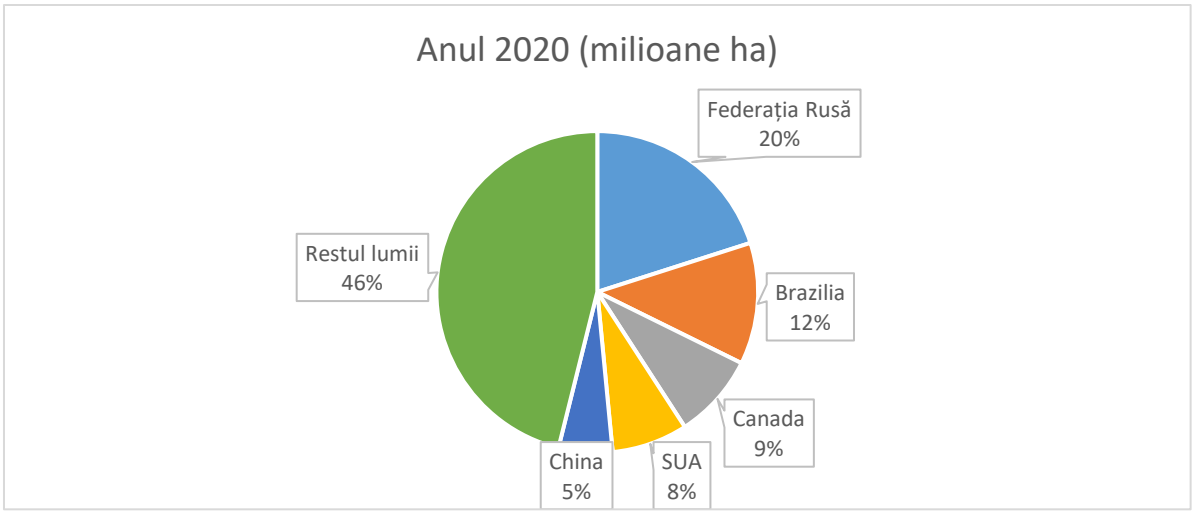


Figura 1. Distribuția zonelor de pădure [1].

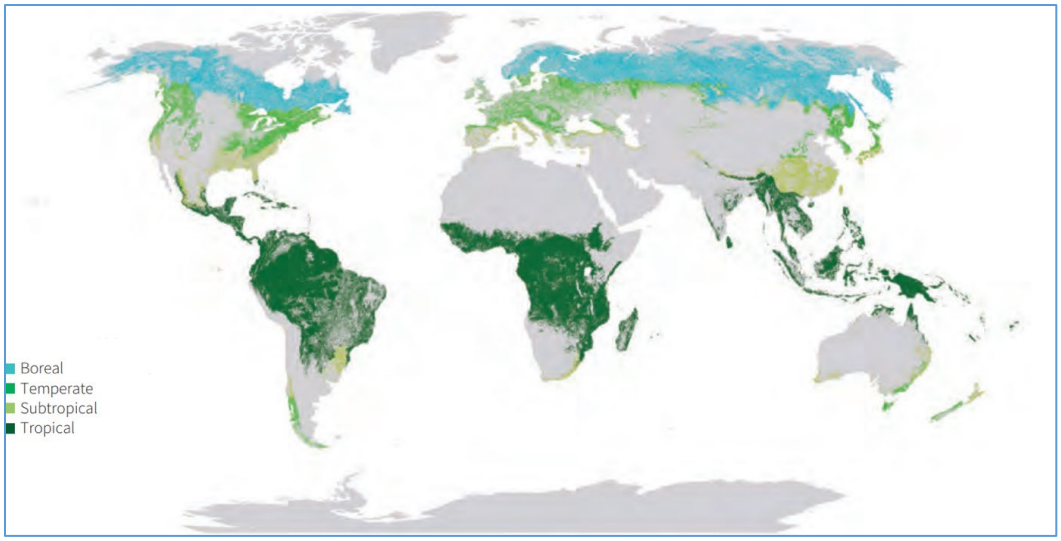


Figura 2. Distribuția pădurilor pe zone climatice (adaptare după FAO, 2020).

Cu toate că suprafața de pădure per capita în lume este de 0,52 hectare, pădurile nu sunt distribuite uniform. Cea mai mare parte este reprezentată de pădurile situate în regiunile tropicale, cu o rată de 45%. Acestea sunt urmate de pădurile boreale cu 27%, pădurile din regiunile temperate cu 17% și pădurile subtropicale cu 11% (Figura 2).

După ce oamenii s-au așezat, suprafețele de pădure din întreaga lume au înregistrat o scădere continuă. Se estimează că acum 10 mii de ani existau 6 miliarde de hectare de pădure în întreaga lume [2]. Scăderea suprafețelor acoperite de păduri în trecutul recent este chiar mai mare. Această situație a dus la apariția conceptului numit defrișare. Potrivit FAO, defrișarea este considerată schimbarea de folosință a pădurii (teren agricol, pășuni, așezări etc.).

Valoarea netă de pădure pierdută la nivel mondial în ultimii treizeci de ani, după deducerea suprafețelor reîmpădurite, a fost de 178 de milioane de hectare. În timp ce rata acestei pierderi a fost de 7,8 milioane de hectare anual între 1990 și 2000, aceasta a scăzut la 5,2 milioane și, respectiv, la 4,7 milioane de hectare în celelalte perioade de zece ani (Figura 3).

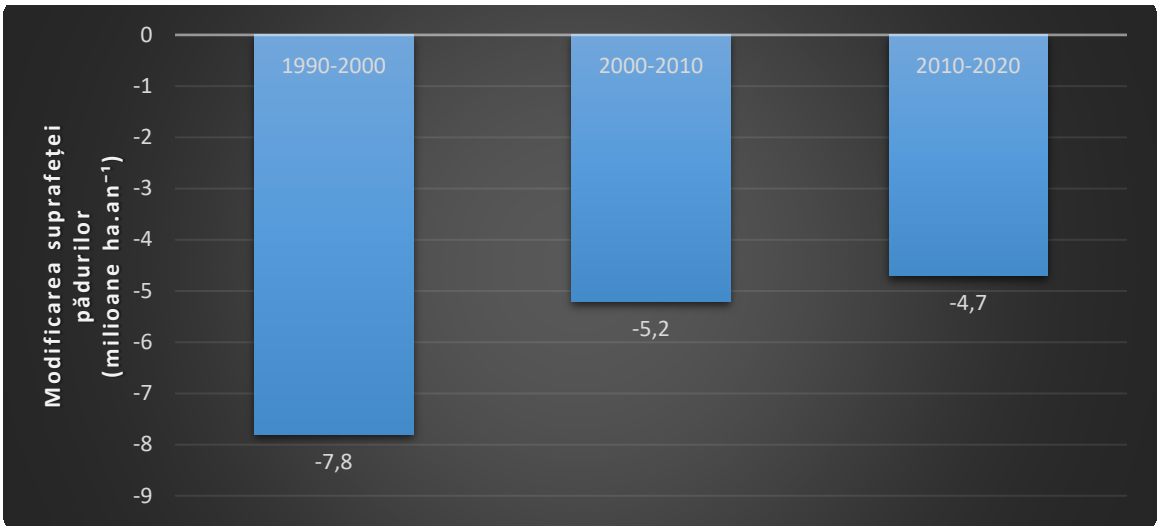


Figura 3. Modificări anuale nete ale zonelor de pădure pe o perioadă de zece ani între 1990 și 2020 [1].

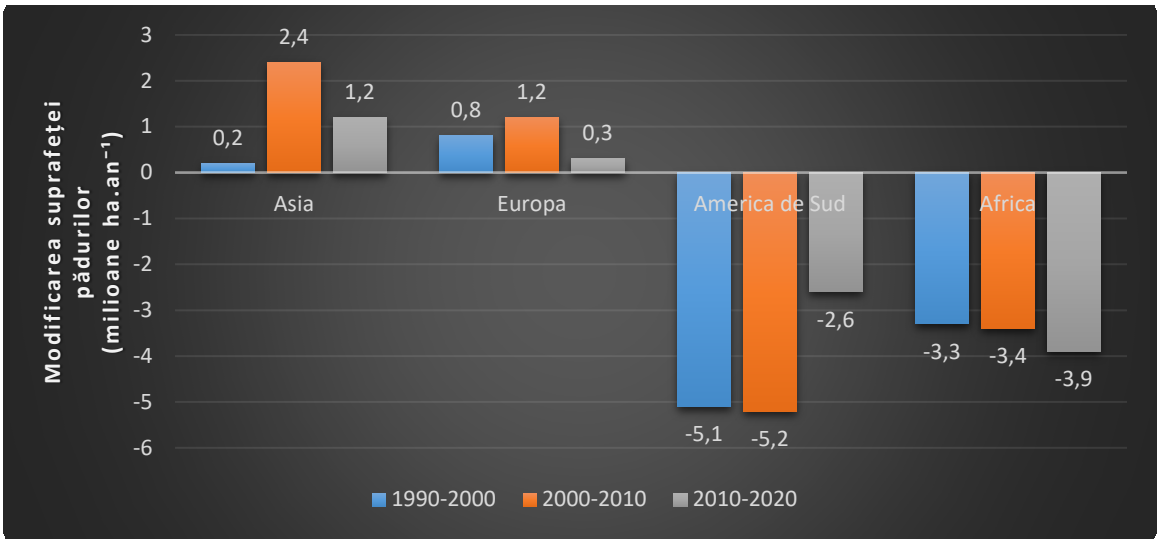


Figura 4. Modificări anuale nete ale zonelor de pădure pe regiuni și în diferite intervale de timp [1].

Deși schimbările evidente observate în zonele forestiere sunt considerate per total o scădere în unele regiuni, există zone în care se observă o creștere datorită împăduririi și măsurilor de protecție.

Schimbarea, care s-a manifestat ca o scădere în Africa și America de Sud, a fost observată ca o creștere în continentele asiatic și european (Figura 4).

Cele zece țări cu cele mai mari creșteri și scăderi în suprafețele forestiere la nivel de țară sunt prezentate în Tabelul 1. Conform acestuia, în timp ce China a fost țara care și-a mărit cel mai mult resursele forestiere, cu o suprafață de aproximativ 2 milioane de hectare anual, situația opusă a avut loc în Brazilia, cu o pierdere forestieră de aproximativ 1,5 milioane de hectare.

Tabelul 1. Clasificarea țărilor în funcție de câștigul anual mediu sau pierderile medii anuale ale suprafețelor forestiere între 2010 și 2020 [1].

No.	CREȘTERE			DESCREȘTERE		
	Țara	Modificarea netă anuală		Țara	Modificarea netă anuală	
		1000 ha.an^{-1}	%		1000 ha.an^{-1}	%
1	China	1937	0,93	Brazilia	-1496	-0,30
2	Australia	446	0,34	Congo	-1101	-0,83
3	India	266	0,38	Indonezia	-753	-0,78
4	Chile	149	0,85	Angola	-555	-0,80
5	Vietnam	126	0,90	Tanzania	-421	-0,88
6	Turcia	114	0,53	Paraguay	-347	-1,93
7	SUA	108	0,03	Myanmar	-290	-0,96
8	Franța	83	0,50	Cambogia	-252	-2,68
9	Italia	54	0,58	Bolivia	-225	-0,43
10	România	41	0,62	Mozambic	-223	-0,59

Pădurile, care sunt unul dintre cele mai importante rezervoare de carbon din ecosistemul terestru, îndeplinesc o sarcină importantă prin captarea dioxidului de carbon din atmosferă și păstrarea acestuia în aceste rezervoare. Carbonul poate fi stocat în țesuturile vii și moarte ale pădurilor, iar o cantitate semnificativă este reținută și în solul forestier. Stocul total de carbon din păduri la nivel global este estimat la 662 de milioane de tone (Tabelul 2). Cea mai mare parte a acestuia este stocată în pădurile din continentul american.

Tabelul 2. Stocurile de carbon forestier pe continente [1].

ȚARA	**Stocurile de carbon ale pădurilor (milioane de tone)**			
	1990	**2000**	**2010**	**2020**
Africa	94 274	90 137	85 913	80 886
Asia	77 093	78 564	81 938	84 733
Europe	158 744	162 457	168 069	172 442
America	304 949	299 048	293 489	290 964
Oceania	33 338	33 111	33 077	33 063
TOTAL	**668 399**	**663 316**	**662 485**	**662 088**

44,48% din carbonul stocat de păduri este reprezentat de biomasă, iar 45,24% se regăsește în materia organică din sol. Ceea ce rămâne corespunde pădurii moarte și stratului care acoperă solul (Figura 5).

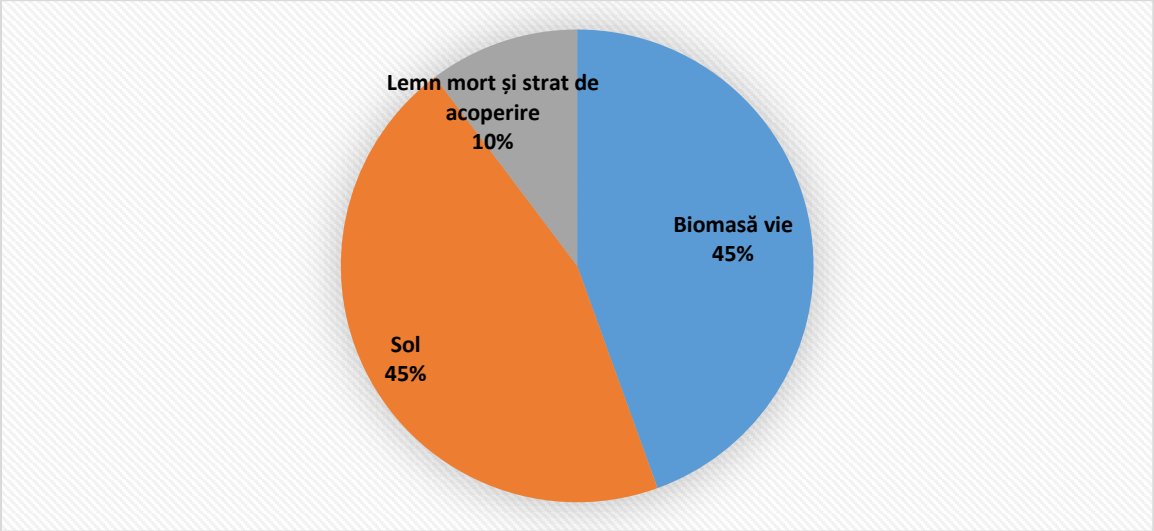


Figura 5. Stocurile de carbon ale pădurilor, 2020 [1].

Sechestrarea carbonului în ecosistemul forestier are loc prin fotosinteză. CO_2-ul preluat din atmosferă de către plante este ajunge în structura carbohidraților și este apoi convertit în alți compuși organici [3].

Carbonul stocat în plante se amestecă fie cu frunzișul de pe sol, fie revine în atmosferă prin respirația animalelor care consumă aceste plante. În timp ce CO_2-ul eliberat ca rezultat al descompunerii materiei organice din frunziș revine în atmosferă, unele dintre aceste produse de descompunere pătrund în sol și se amestecă cu acesta. Astfel, devine posibilă stocarea carbonului organic în sol [4].

Odată cu adăugarea tuturor tipurilor de organisme moarte în solul sub-pădure, carbonul acumulat continuă să se descompună cu ajutorul creaturilor solului, cum ar fi bacteriile și ciupercile. Ca urmare a descompunerii, o parte din carbon revine în atmosferă sub formă de CO_2. Acest fenomen este denumit respirația solului. Dacă suprafețele forestiere sunt convertite în terenuri agricole, cantitatea de carbon stocată în sol scade. Principala cauză pentru aceasta este dispariția sursei de materie organică odată cu distrugerea acoperișului solului, descompunerea mai rapidă a materiei organice ca rezultat al prelucrării solului și transportul stratului superior de sol care are un conținut ridicat de carbon organic, acesta devenind vulnerabil la eroziune [5].

Este evident că schimbările climatice, care apar din cauza creșterii emisiilor gazelor cu efect de seră în atmosferă, reprezintă una dintre cele mai mari amenințări cu care se confruntă lumea. Ecosistemele forestiere sunt unul dintre cele mai importante instrumente pentru reducerea CO_2-ului în atmosferă, datorită potențialului lor ridicat de stocare a carbonului atât în sol, cât și în biomasă. Capturarea gazelor cu efect de seră existente, precum și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în atmosferă, reprezintă o abordare importantă pentru reducerea efectelor schimbărilor climatice. Pentru aceasta:

- trebuie luate măsuri pentru protejarea activelor forestiere la nivel global,

- trebuie refăcută productivitatea suprafețelor de pădure degradate,

- trebuie să aibă loc prevenirea defrișărilor masive,

- trebuie să se prevină schimbarea destinației terenurilor forestiere în terenuri agricole,

- trebuie să se limiteze daunele cauzate de tăierile ilegale și pășunatul ilegal,

- măsuri precum împădurirea în zonele potrivite sunt vitale pentru o lume mai locuibilă.

Deșertificarea

Deșertificarea este definită în Convenția Națiunilor Unite de Combatere a Deșertificării (UNCCD) ca degradarea terenurilor cauzată de interacțiunile complexe dintre factorii fizici, biologici, politici, sociali, culturali și economici, inclusiv schimbările climatice și activitățile umane, în țările afectate de secete severe și/sau deșertificare în zonele aride, semi-aride și uscate sub-umede.

Degradarea solului, care poate fi observată peste tot, este considerată deșertificare dacă apare în terenuri aride, semi-aride și uscate sub-umed. Deșertificarea apare mai frecvent și impactul său este mai mare în medii unde precipitațiile totale sunt scăzute, resursele de apă sunt insuficiente, au loc evenimente de secetă lungi și recurente și există straturi subțiri de sol, acoperite cu vegetație rară și sensibilă. Factorii legați de schimbările climatice pot duce la o creștere a vulnerabilității terenurilor la deșertificare și la accelerarea proceselor de deșertificare [6].

Deșertificarea nu se limitează la forme ireversibile de degradare a terenurilor; ea reprezintă toate formele și nivelurile de degradare a terenurilor care apar în regiunile uscate. Indicele de ariditate sau secetă (IA) este de obicei luat în considerare în clasificarea zonelor uscate (Figura 6). La calculul indicelui de secetă, se folosește raportul dintre cantitatea medie anuală de precipitații și cantitatea de apă pierdută prin evapotranspirație. Conform estimărilor, proporția zonelor uscate la nivel global este estimată la aproximativ 46% [7]. Clima aridă este o caracteristică pe termen lung caracterizată printr-o cantitate scăzută medie de precipitații și este diferită de secetă, care este o caracteristică climatică temporară. Zonele extrem de uscate cu un indice de secetă sub 0,05 sunt excluse din definiția deșertificării [8].

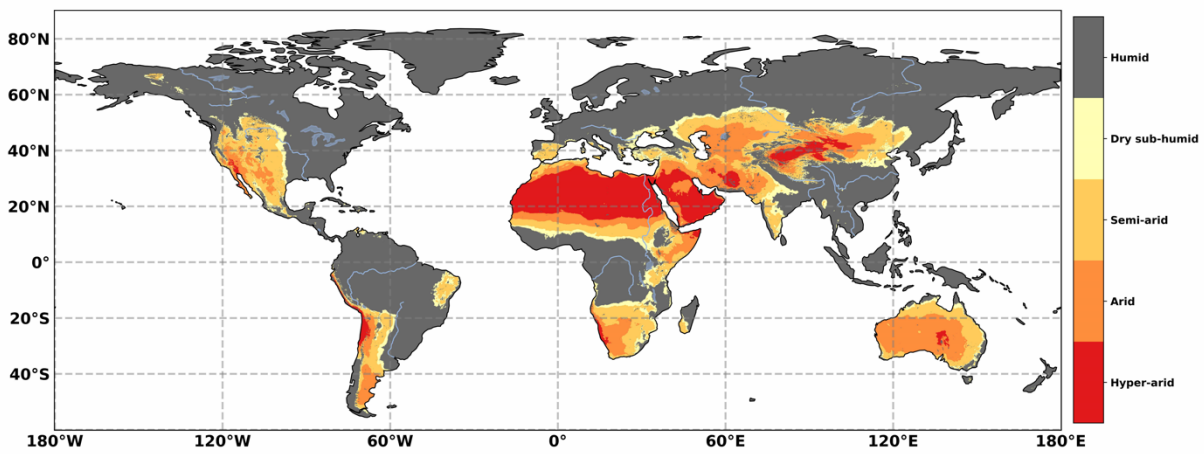


Figura 6. Distribuția geografică a zonelor după indicele de ariditate (IA). Umed: IA > 0,65, Uscat sub-umed: 0,50 < IA ≤ 0,65, Semi-arid: 0,20 < IA ≤ 0,50, Arid: 0,05 < IA ≤ 0,20, Hiper arid: IA < 0,5. Perioada: 1980–2015, [9].

Astăzi, multe țări din lume se confruntă cu pericolul deșertificării. Programul Națiunilor Unite pentru Mediu (UNEP) estimează costul global al deșertificării la 42 de miliarde de dolari anual. Aproximativ 70% din zonele uscate ale lumii se află în Africa și Asia (Figura 7). În afara deșerturilor, cel mai mare utilizare a terenurilor în zonele uscate este pășunatul, urmat de păduri și terenurile arabile [7].

În timp ce schimbările climatice sunt considerate principalul factor care duce la deșertificare, este posibil ca deșertificarea să producă schimbări în climatul local. Modificările care apar local ca urmare a interacțiunii mutuale contribuie de asemenea la schimbările climatice globale prin creșterea nivelului CO_2 [10].

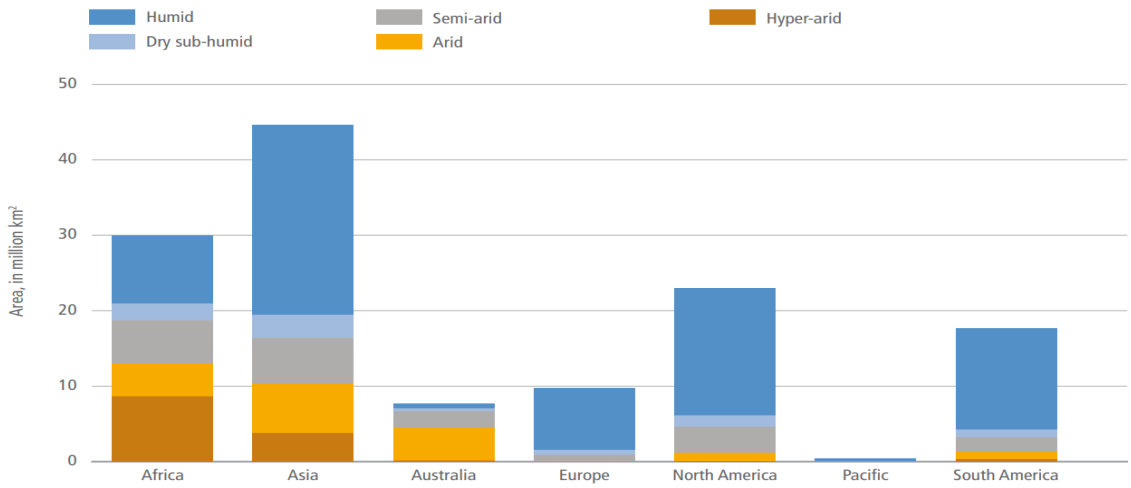


Figura 7. Categorii de terenuri aride după regiunile geografice, perioada: 1980–2015, [9].

Interacțiunea dintre schimbările climatice și degradarea terenurilor rămâne strâns legată. Resursele de apă din lume se schimbă în funcție de climă. Disponibilitatea apei este prognozată să crească cu 10-40 % la latitudini mari și în unele tropice umede, în timp ce va scădea cu 10-30 % la latitudini medii și tropicele uscate. Schimbările în evenimente meteorologice precum temperatură, precipitații și vânt pot agrava deșertificarea [11].

Cele mai importante efecte ambientale și sociologice ale secetei și deșertificării, care au multe efecte negative, sunt enumerate mai jos [6]:

• Pierderea productivității biologice în ecosisteme și scăderea producției agricole;

• Slăbirea și dispariția vegetației naturale;

• Reducerea biodiversității;

• Crearea condițiilor favorabile pentru răspândirea speciilor de plante străine și invazive;

• Accentuarea eroziunii datorată vântului;

• Scăderea disponibilității apei, coborârea nivelurilor apelor subterane;

• Sărăcie și foamete printre locuitorii regiunii afectate;

• Creșterea numărului nomazilor climatici și intensificarea deșertificării;

• Deteriorarea directă sau indirectă a calității vieții în zonele afectate.

Deși variază considerabil în funcție de geografie, iată mai jos principalele cauze directe și indirecte ale deșertificării [6]:

• Incendiile forestiere și defrișările,

• Activități agricole precum pășunatul excesiv, lucrările continue de arat, utilizarea intensivă a pesticidelor și a îngrășămintelor,

• Consumul excesiv al tuturor tipurilor de resurse rare,

• Utilizarea excesivă a resurselor de apă și erorile făcute în gestionarea irigațiilor,

• Construcția de baraje și structuri mari, modificarea și perturbarea direcțiilor de curgere ale canalelor și albiilor râurilor, consumul excesiv de apă subterană, drenarea zonelor umede,

• Schimbările climatice și variabilitatea acestora care cauzează secete și inundații,

• Competiția acerbă și problemele cauzate de regimul larg răspândit de comerț internațional datorită răspândirii globalizării și a regulilor economiei de piață, etc.

Pentru a lupta comun și eficient împotriva deșertificării mai multe țări au semnat în iunie 1994 Convenția Națiunilor Unite de Combatere a Deșertificării (UNCCD). Scopul convenției este de a minimiza efectele secetei prin combaterea secetei și/sau deșertificării în țările afectate de aceasta, în special în Africa, prin acțiuni eficiente la toate nivelurile.

Eroziunea

Eroziunea poate fi definită ca pierderea solului ca rezultat al deplasării acestuia datorită diferitelor forțe cum ar fi apa, vântul sau mișcările de masă. Principalii factori care afectează eroziunea solului sunt cantitatea și intensitatea precipitațiilor, viteza vântului, direcția și forța acestuia, schimbările în categoriile de utilizare a terenurilor, topografia și proprietățile solului [6].

Diverse modele climatice create datorită schimbărilor climatice arată că, în general, creșterea intensității precipitațiilor și creșterea evenimentelor de vânt puternic pot cauza o intensificare a eroziunii solului, în special odată cu creșterea evenimentelor de secetă [12]. Pe de altă parte, impactul eroziunii asupra schimbărilor climatice prin posibile modificări ale ciclului carbonului din sol nu a fost încă evaluat în mod adecvat, deoarece eroziunea poate crește sau reduce emisiile de CO_2 datorită mineralizării crescute și sedimentării [13, 14]. Eroziunea accelerată rezultată din utilizarea excesivă a irigațiilor reprezintă o amenințare majoră pentru solurile din întreaga lume. Se afirmă că 75 de miliarde de tone (Pg) de sol sunt erodate din zonele agricole arabile la nivel global în fiecare an prin eroziune, iar aceasta corespunde unei pierderi economice de aproximativ 400 de miliarde de dolari pe an [15]. Măsura în care sunt afectate solurile de eroziune în întreaga lume poate varia. O evaluare a eroziunii solului la nivel global este prezentată pe o hartă din 2012 (Figura 8). În crearea studiului au fost incluse 202 țări cu o suprafață de peste 125 de milioane de km^2, estimările fiind create prin modelarea bazată pe RUSLE. Pe harta în care aproximativ 84,1% din solul lumii este evaluat, ratele de eroziune a solului sunt împărțite în șapte clase care simbolizează rate crescânde de la verde la roșu [16].

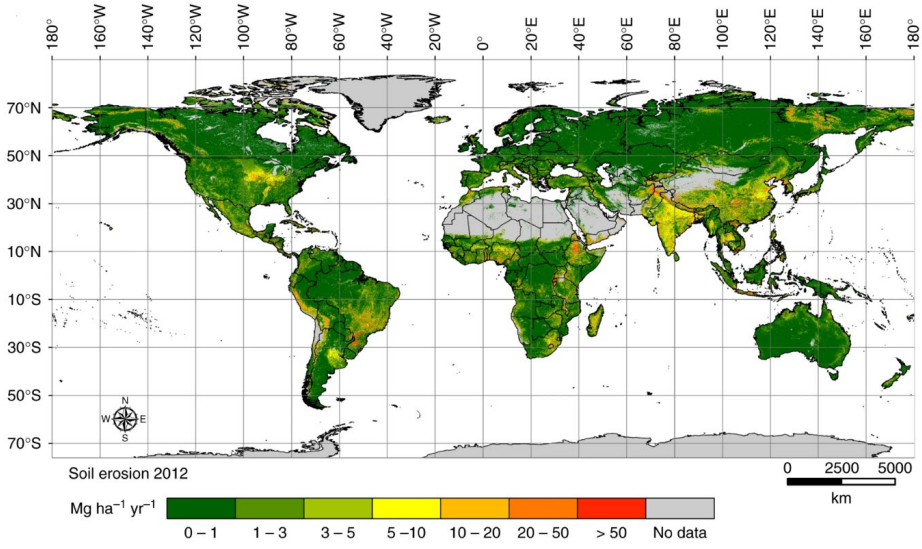


Figura 8. Ratele de deplasare a solului datorită eroziunii determinate de apă, 2012 [16].

Eroziunea accelerată a solului se datorează în primul rând schimbărilor în categoriile de utilizare a terenurilor. Solurile devin mai vulnerabile la eroziune, în special atunci când zonele forestiere sunt transformate în terenuri agricole. Montgomery [17] a declarat că datele obținute dintr-o compilare globală a cercetărilor confirmă afirmația că ratele de eroziune în zonele agricole cu lucrări tradiționale de arat sunt de câteva ori mai mari decât în zonele cu vegetație naturală. Conform cercetătorului, deși

la nivel global formarea și eroziunea solului în zonele naturale au loc într-un mod care echilibrează amenințările geologice și climatice, agricultura bazată pe aratul tradițional crește ratele de eroziune până la punctul de a deveni nesustenabile. Spre deosebire de aratul tradițional, agricultura fără lucrări de arat are o importanță deosebită pentru agricultura durabilă, deoarece va crea eroziune mai aproape de cantitatea de producție a solului.

Comparând eroziunea solului în funcție de tipurile de utilizare a terenurilor, se observă diferențe mari. Se estimează că eroziunea solului în zonele cultivate din întreaga lume este de 77 de ori mai mare decât în solurile de pădure și aproximativ de 7 ori mai mare decât în solurile cu vegetație naturală [16].

Este posibil să se observe o scădere semnificativă a eroziunii solului ca rezultat al practicilor agricole de protecție. În acest scop, într-o evaluare realizată folosind modelarea în terenurile a 54 de țări raportate la FAO, s-a raportat o scădere anuală de 7% în pierderea de sol [16]. S-a afirmat că, pe baza unei țări, eroziunea solului a fost redusă cu maximum 33% în Argentina prin practici agricole de protecție. În timp ce ratele de reducere a eroziunii solului au fost mai mari în țările mai puțin dezvoltate, creșterile ratelor de reducere au fost mai mici în economiile dezvoltate.

Solul este unul dintre cele mai importante active naturale ale lumii, care necesită mulți ani pentru a se forma. Existența continuă a vieții pe Pământ depinde de existența sa. Protejarea solului ca un activ și continuarea utilizării sale în producție va fi posibilă prin implementarea unor abordări ecologice în relațiile dintre om și sol, fără a pierde timpul. Unele măsuri care pot fi luate în acest sens sunt enumerate mai jos:

- Trebuie făcute reglementări legale pentru a proteja resursele de sol și apă, iar deficiențele și problemele din reglementările existente trebuie revizuite și puse din nou în practică.
- Solurile ar trebui clasificate în funcție de proprietățile lor și ar trebui făcută planificarea utilizării terenurilor pentru a ne asigura că solurile sunt utilizate conform capacităților lor.
- Trebuie luate măsuri de protecție în producția agricolă, în special în zonele predispuse la eroziune. În acest scop, ar trebui implementate practici fără arare sau cu arare redusă, iar pierderile posibile de sol ar trebui reduse prin măsuri precum metoda de semănat direct în paie sau folosirea culturilor de acoperire.
- Trebuie luate măsuri pentru protejarea și îmbunătățirea zonelor de pășuni. De asemenea, trebuie prevenită pășunatul excesiv și necontrolat.
- Deoarece scurgerile de suprafață și pierderile de sol vor fi ridicate în zonele cu pante mari, producția agricolă ar trebui să fie efectuată după ce sunt făcute aplicații precum fâșii, contururi etc. în astfel de locuri.
- În locurile cu probleme de eroziune, trebuie să se acorde o atenție specială selectării produselor de crescut, iar în loc să se planteze plante cu sapa, producția ar trebui făcută cu plante care necesită mai puțin arare și care prind mai bine solul.
- Realizarea aranjamentelor de drenaj pentru a preveni acumularea de apă în zonele care au soluri problematice.

Bibliografie

1. FAO, (2020). Global Forest Resources Assessment 2020 Main Report. https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf (Access date: 22.09.2023).
2. FAO, (2012). State of the World's Forests 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
3. Tolunay, D., Çömez, A., (2008). In forest lands carbon storage and the situation in Turkey. Spherical Climate Change and This your problems Forests in Solution, Istanbul, 97-108.
4. Kantarcı, M.D. (2000). Soil İlmi (2nd Edition), İ.Ü. Publication No. 4261, Faculty of Forestry Publication No.462, Cantay Printing House, Istanbul

5. Lal, R., (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security, Science 304:1623-1627
6. Türkeş, M. (2012). Drought, Desertification and United Nations desertification with my struggle of the Convention a Detailed Analysis. Marmara University Europe community Institute Europe research Journal, 20(1), 7-55.
7. Mirzabaev, A., Wu, J., Evans, J., García-Oliva, F., Hussein, I.A.G., Iqbal, M.H., Kimutai, J., Knowles, T., Meza, F., Nedjraoui, D., Tena, F., Türkeş, M., Vázquez, R.J., Weltz, M. (2019). Desertification In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia , V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai , R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat , E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi , J. Malley, (eds.)]. In press.
8. UNCCD, (1994): Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. General Assembly, United Nations, 1–58 pp.
9. Abatzoglou, J.T., Dobrowski, S.Z., Parks, S.A., Hegewisch, K.C. (2018): TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. Sci. Data, 5, 170191, doi:10.1038/sdata.2017.191.
10. Sivakumar, M.V.K. (2007). Interactions between climate and desertification. Agricultural and forest meteorology, 142(2-4), 143-155.
11. WMO, (2007). Climate change and desertification. World Meteorological Organization, https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_climate_change_desertification_2007.pdf (Access date: 28.09.2023)
12. Hoffmann, M. T., Rounsevell, M., Sehgal, J., Varally, G. (1996). “Land degradation and desertification.” R.T. Watson, M. C. Zinyowera and R.H. Moss (eds.), Climate Change, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Contributing of WG II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). New York: Cambridge University Press,171-189.
13. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304, 1623–1627
14. Van Oost, K. et al. (2007). The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. Science 318, 626–629
15. FAO, (2023). Global Soil Partnership endorses guidelines on sustainable soil management. https://www.fao.org/news/story/en/item/416121/icode/ (Access date: 02.10.2023)
16. Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature Communications, 8(1). doi:10.1038/s41467-017-02142-7
17. Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(33), 13268–13272. doi:10.1073/pnas.0611508104

3. Utilizarea Noilor Tehnici de Irigații pentru Producții Sustenabile și Protejarea Resurselor de Apă în Condițiile Schimbărilor Climatice

Daniel BUCUR, Iuliana MOTRESCU, Feodor FILIPOV

Cuprins

- Irigațiile în condițiile schimbărilor climatice,
- Necesitatea irigării culturilor,
- Irigarea prin scurgere la suprafață,
- Irigarea prin aspersiune,
- Irigarea prin picurare,
- Managementul și programarea udărilor,
- Reutilizarea apei pentru irigații,
- Însămânțarea norilor.

Apa are un rol esențial în creșterea plantelor și obținerea unor recolte agricole bogate indiferent de condițiile climatice, având un rol critic în dezvoltarea agricolă. Apa translocată din sol prin plantă în atmosferă asigură transportul nutrientilor și produșilor fotosintezei în plantă, permite solubilizarea substanțelor nutritive și extragerea lor din sol prin rădăcinile plantei, fiind necesară pentru germinare, încolțire , precum și realizarea altor funcții. În agricultura modernă irigațiile sunt utilizate în scopuri multiple. Mai întâi acestea au rolul fiziologic de a asigura necesarul de apă pentru creșterea și menținerea unei producții agricole stabile în zone în care precipitațiile sunt insuficiente sau neuniform distribuite în timpul sezonului de creștere.



În plus, irigațiile poți fi utilizate pentru combaterea efectelor brumelor târzii de primăvară sau timpurii de toamnă (acest tip de irigații fiind cunoscut sub denumirea de irigații anti-îngheț), pregătirea substratului pentru semințe în bune condiții după o perioadă prelungită de secetă (situație întâlnită în timpul verii înainte de însămânțarea culturilor succesive, precum și în toamnă atunci când este vorba despre însămânțarea grâului), purificarea biologică naturală prin utilizarea apelor reziduale evitând astfel instalațiile de purificare care pot fi costisitoare. La cultivarea orezului se utilizează irigarea prin inundare în care terenurile sunt inundate cu apă și pentru reglarea temperaturii atunci când apar scăderi bruște de temperatură, așa numita reglare termică sau termo-reglare. Prin irigația de spălare se solubilizează și se antrenează sub stratul activ excesul de săruri solubile din sol.

Eficiența irigațiilor este încă foarte scăzută, aproximativ jumătate din apă fiind utilizată de către culturi, situație care, în condițiile schimbărilor climatice în care resursele de apă sunt reduse, trebuie să fie îmbunătățită pentru un management sustenabil al apei, practici agricole sustenabile și o bună protecție a mediului. Cursurile din acest modul prezintă tehnicile de irigație existente precum și modalitățile de a îmbunătății managementul acestora, se discută impactul irigațiilor în condiție schimbărilor climatice precum și practici adoptate pentru producerea sustenabilă și managementul sustenabil al apei.



Irigațiile în condițiile schimbărilor climatice

Scop

Irigațiile se referă la practicile și operațiile utilizate pentru a asigura în mod artificial necesarul de apă al diferitelor culturi, mai ales în perioadele în care cantitatea de precipitații este redusă și există un deficit de apă în sol. De-a lungul timpului aceste practici au permis oamenilor să aibă o sursă de hrană independentă de absența precipitațiilor, cum ar fi de exemplu în sezonul uscat întâlnit în zonele tropicale și subtropicale. Irigarea terenurilor pare o metodă foarte simplă; cu toate acestea vom arăta că există mulți factori ce trebuie luați în considerare. Mai întâi este crucială disponibilitatea unei surse de apă. Găsirea unei surse de apă poate fi o provocare uneori datorită poluării și utilizării apei și în alte direcții decât în agricultură [1]. Aproximativ 70% din sursele globale de apă dulce sunt utilizate în agricultură pentru irigații [2]. Datorită creșterii continue a necesității hranei, s-a intensificat consumul de apă din sursele naturale existente. La nivel global, regiunile cele mai irigate corespund țărilor cele mai populate (China, India) la care se adaugă și Statele Unite.

În acest context este necesară adaptarea tuturor practicilor agricole, inclusiv a irigațiilor, astfel încât acestea să fie adaptate schimbărilor climatice și să nu inducă schimbări climatice.



Schimbări climatice induse de irigații

Pentru a satisface nevoile crescânde pentru hrană, fie se extind suprafețele arabile, fie se intensifică producția pe terenurile arabile existente. În ultimul caz se utilizează tehnologii de cultivare moderne care se bazează și pe irigații pentru creșterea producției de cel puțin două ori așa cum arată studii recente [4,5]. Pe de altă parte, odată cu intensificarea utilizării sistemelor de irigare, crește cantitatea de apă potabilă utilizată preluată din surse naturale, ceea ce influențează negativ biodiversitatea acestor ecosisteme.

Impactul irigațiilor asupra climei nu este complet cunoscut în toate condițiile climatice, deoarece există încă o lipsă a studiilor în majoritatea regiunilor agricole. Unele studii recente asupra evaporării apei la nivelul solului în zonele irigate au evidențiat existența unor schimbări climatice regionale [6]. În agricultură, irigațiile modifică umiditatea și temperatura în apropierea suprafeței solului. Impactul irigațiilor este foarte puțin studiat, în ciuda faptului că irigațiile se extind pe suprafețe mari în toată lumea. Evaporarea apei în atmosferă depinde de mai mulți factori printre care radiația solară, temperatură, umiditatea aerului, mișcarea maselor de aer, surplusul de apă din atmosferă datorat irigațiilor având un impact considerabil asupra climatului local prin modificarea tiparului precipitațiilor și chiar tipul acestora, influențând astfel indirect și cantitatea de apă disponibilă ulterior în sol și sursele naturale. Fluxurile de căldură la nivelul solului sunt puternic afectate de irigații. Se presupune că și

aceste modificări duc la producerea precipitațiilor convective, așa cum se poate observa și din tiparele evenimentelor de grindină de exemplu, modificate în multe regiuni de pe glob, și care devin mult mai extinse în timp și spațiu. Ținând seama de aceste lucruri, se poate spune că transferul de căldură și transferul apei în atmosferă sunt modificate în special în zonele irigate extinse și au un impact puternic asupra climei, modificând-o local. Sistemele sustenabile de irigații trebuie să ia în considerare toți factorii implicați, de la securitatea hranei, impactul hidroclimatic, calitatea apei, impactul asupra solului și energia utilizată.

O altă problemă este cea legată de stocarea apei. Creșterea necesarului de apă duce la creșterea necesității realizării unei infrastructuri capabile să depoziteze apă, cum ar fi rezervoarele sau barajele. Această apă provine din cursurile de apă, ceea ce face ca nu doar ecosistemul să fie afectat dar și producerea de electricitate în hidrocentrale, poate duce la creșterea riscului apariției unor inundații, implicând astfel costuri suplimentare operaționale, motiv pentru care managementul apei este extrem de important când vine vorba de irigații. În același timp, lipsa precipitațiilor datorită schimbărilor climatice afectează puternic resursele de apă și exploatarea acestora.

Intensificarea irigațiilor rezultă într-o creștere a aplicării pesticidelor și fertilizatorilor care pătrund ulterior în circuitul apei și o poluează. Acest lucru are un impact negativ asupra ecosistemului și prezintă riscuri mari pentru sănătatea populației deoarece influențează calitatea resurselor de apă. Datorită creșterii evapotranspirației, sărurile se concentrează la suprafața solului, fiind transportate în râuri sau, pur și simplu, crescând salinitatea solului și expunând plantele la stres salin. Salinizarea solurilor duce la degradarea acestora și scăderea fertilității care determină direct scăderea producției culturilor deoarece sărurile acumulate în sol limitează cantitatea de apă care ajunge în plante. Planificarea sistemelor de irigație trebuie să țină seama de toate aceste aspecte pentru un mai bun management al calității apei și un rezultat pozitiv asupra culturii în cazul utilizării sistemelor de irigații.

Un caz special este cel al plantelor utilizate pentru captarea și stocarea carbonului (BECCS – bioenergy with carbon capture and storage). Acestea sunt specii de plante care cresc foarte repede și a căror biomasă este utilizată pentru a produce energie, în același timp ele captând dioxid de carbon din atmosferă. În general se presupune că în timpul creșterii, aceste plante au un potențial bun de reținere a CO_2, asigurând cantități importante de energie. Pe de altă parte, creșterea acestor specii de pante în condițiile schimbărilor climatice necesită cantități mari de apă, fiind în competiție cu alte culturi și inducând stres hidric. Este de așteptat ca plantațiile utilizate pentru biomasă să crească stresul hidric în sol cu de la 20% până la 90% mai mult decât schimbările climatice în următorul secol [8], mai ales în zonele foarte populate și în țările în care se cultivă intens astfel de specii. De aici apare și necesitatea stabilirii și implementării unor politici de utilizare a apei care să limiteze efectele negative ale irigațiilor intense pentru culturile producătoare de biomasă.

Impactul schimbărilor climatice asupra irigațiilor

Datorită încălzirii globale, tiparele precipitațiilor s-au schimbat, crescând stresul hidric pe o arie mare care beneficia înainte de precipitații. Tot datorită schimbărilor climatice se manifestă valuri de căldura puternice, ceea ce duce la creșterea stresului termic asupra culturilor și scăderea productivității acestora. În același timp, scade evaporarea și crește nivelul de dioxid de carbon din atmosferă, astfel încât într-un climat mai cald culturile vor avea nevoie de mai multă apă. Este de așteptat ca, datorită schimbărilor climatice, cele mai sensibile zone să fie cele care se bazau exclusiv pe precipitații pentru creșterea culturilor.

Studiile au arătat că doar folosirea irigațiilor nu este suficientă pentru a lupta cu aceste schimbări climatice. Chiar și în cazul existenței unor strategii extrem de planificate și controlate, cu bază științifică, s-a arătat că acestea nu sunt de ajuns pentru a duce la o creștere maximă a producțiilor în

zonele studiate [7]. De obicei în zonele irigate productivitatea este mai mică decât cea maximă posibilă deoarece plantele sunt expuse la alți factori din care mulți sunt legați de schimbările climatice (ex. stres termic, hidric, salin), iar alții rezultă dintr-un management deficitar al irigațiilor care nu ia în considerare toți factorii implicați (de exemplu disponibilitatea resurselor de apă, limitări economice).

Necesarul de apă al plantelor se modifică în condițiile schimbărilor climatice. În primul rând unii factori duc la modificarea parametrilor biometrici și a duratei fazelor de creștere ceea ce duce la modificarea fenologiei culturilor, influențând direct necesarul de apă și astfel productivitatea. De aceea este necesar un management al irigațiilor care să țină seama de nevoile de creștere ale plantelor în ciuda schimbărilor climatice. Vom discuta într-un alt capitol despre cele mai bune practici pentru managementul irigațiilor.

Sustenabilitatea irigațiilor

Apa utilizată pentru irigații poate proveni din resurse diferite, metoda de irigației utilizată depinzând de context. În general se folosesc resurse de apă dulce (râuri, lacuri); în unele cazuri se poate utiliza apa reziduală, tratată astfel încât să poată fi folosită pentru irigații, sau chiar apa din mări și oceane după ce a fost desalinizată în același scop. Tehnica de irigații depinde în general de tipul culturii, dar și de necesarul energetic, trebuind luați în considerare și alți factori de cele mai multe ori economici. Astfel, eficacitatea diferitelor sisteme de irigații diferă de la caz la caz; studiile au arătat că cel mai eficient sistem este cel prin picurare, urmat de cel prin aspersiune și irigarea la suprafață.

Cea mai mare problemă a sistemelor de irigații este faptul că nu sunt sustenabile, deoarece consumul de apă depinde foarte mult de resursele de apă existente. Printre efectele negative ale practicilor nesustenabile le amintim pe cele asupra sistemelor acvatice, degradarea solului și cursurilor de apă, toate acestea punând în pericol securitatea apei și cea alimentară. Pe baza acestor efecte trebuie luate noi măsuri care să limiteze efectele negative și să facă irigațiile sustenabile. Practicile de mitigare includ reducerea necesarului de apă prin adaptarea culturilor și crearea de plante rezistente la secetă, creștere eficienței consumului de apă, menținerea umidității solului prin reducerea evaporării și creșterea infiltrării apei în sol, acestea putându-se realiza folosind tehnologii fără arat (no-till), prin îndepărtarea buruienilor, creșterea eficienței sistemelor de irigații, implementarea de metode de colectare și stocare a apei de ploaie pentru a suplimenta resursele de apă, utilizarea resurselor de energie regenerabilă pentru operarea sistemelor de irigații.

Pentru implementarea unor sisteme de irigații sustenabile în condițiile schimbărilor climatice, sunt luate în considerare în prezent două abordări:

1. **soluții legate de sol** – acestea sunt legate de factorii fizici care determină producția și eficiența unei culturi. Aceste soluții sunt menite să:

-crească umiditatea în sol prin reducerea evaporării și scăderea expunerii solului la radiația solară

-îmbunătățirea retenției de apă în sol

-utilizarea eficientă a tehnicilor de irigații pentru a nu expune plantele la stres hidric ridicat și utilizarea de surse de energie regenerabilă pentru operarea sistemelor de irigații, precum și utilizarea diferitelor tehnici de colectare și stocare a apei provenite din precipitații

-utilizarea diferitelor tehnologii pentru îmbunătățirea retenției apei în sol

2. **soluții legate de plantă** – acestea sunt menite să:

-crească rezistența plantelor la secetă

-îmbunătățească productivitate

-utilizeze culturi care se comportă bine la stres hidric.

Extinderea irigațiilor poate avea un impact negativ pe multe planuri, influențând securitatea alimentară, mediul (prin feedback-ul hidroclimatic, resursele de apă și calitatea acestora, energie utilizată, etc.), salinizarea solului și așa mai departe.

O alternativă sustenabilă pentru protejarea culturilor este reprezentată de cultura în sere unde sistemele de irigații sunt automate, reglând controlul de apă și crescând eficiența aplicării irigațiilor pentru o productivitate maximă.

Concluzii

Irigațiile pot avea multe efecte negative, din punct de vedere climatic ducând la modificări locale ale precipitațiilor și temperaturii datorită creșterii cantității de apă din atmosferă datorită evaporării. O cantitate de apă crescută la nivelul solului duce la creșterea ratei evapotranspirației modificând bilanțul energetic la acest nivel și gradientului de temperatură ceea ce duce la modificare transferului de căldură în atmosferă. Chiar dacă reduce efectele temperaturilor crescute asupra plantelor, umiditatea rezultată din irigații produce un climat mai cald prin creșterea umidității aerului. Acesta este feedbackul hidroclimatic al irigațiilor. Irigarea intensivă poate duce și la creșterea salinității solului datorită creșterii ratei de evaporare, salinitatea fiind în detrimentul culturilor.

Pentru realizarea unor sisteme sustenabile de irigații trebuie considerate toate aspectele menționate mai sus legate de factori externi. Planificarea acestor sisteme pentru diferite culturi trebuie să ia în seamă în primul rând tipul de cultură și factorii climatici. În condițiile schimbărilor climatice, o serie de alți factori sunt de asemenea importanți pentru creșterea sustenabilității:

- alegerea unor culturi care să țină seama de condițiile climatice din zona respectivă și resursele de apă pentru irigații
- o atenție deosebită trebuie acordată feedbackului hidroclimatic și tiparelor de modificare a transferului de căldură în zonele irigate
- trebuie luate în considerarea efectele altor factori abiotici legați ce însoțesc schimbările climatice, cum ar fi stresul termic și cel salin, și, pe cât posibil, utilizarea unor culturi care răspund pozitiv la aceste tipuri de stres; rotația și diversificarea culturilor sunt de asemenea măsuri de mitigare
- proiectarea de infrastructuri de colectare și/sau stocare a apei potrivite pentru zona respectivă astfel încât folosirea resurselor de apă să aibă un impact cât mai mic asupra ecosistemelor și a altor activități care beneficiază de respectivele surse de apă
- un mai bun control a aplicării diferitelor substanțe chimice (pesticide, fertilizatori) deoarece acestea se vor trece în sol, fiind purtate în circuitul apei nu doar în zona irigată
- eficiența irigațiilor trebuie evaluată și din punct de vedere economic
- implementarea unor măsuri menite să limiteze și să contracareze efectele negative ale schimbărilor climatice trebuie să țină seama de cât mai mulți factori menționați.

Bibliografie

1. Cai, X. (2005) Risk in Irrigation Water Supply and the Effects on Food Production, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 41(3), 679-692, https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03763.x
2. Corinsh, G.A., Kielen, N.C. (2004) Wastewater irrigation – hazard or lifeline? Empirical results from Nairobi, Kenya and Kumasi, Ghana, in Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities, pp.69-79, https://doi.org/10.1079/9780851998237.0069

3. Rosa, L. (2022) Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. Environmental Research Letters, 17(6), 063008, https://orcid.org/0000-0002-1280-9945
4. Nocco, M.A., Smail, R.A., Kucharik, C.J. (2019) Observation of irrigation-induced climate change in the Midwest United States, Global Change Biology, 25(10), 1-13, https://doi.org/10.1111/gcb.14725
5. World Bank 2022 Water in agriculture available at: www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture#1(Accessed March 2022)
6. Nocco, M.A., Smail, R.A.; Kucharik, C.J. (2019) Observation of irrigation-induced climate change in the Midwest United States, Global Change Biology, 25(10), 3472-3484, https://doi.org/10.1111/gcb.14725
7. Kaini, S., Harrison, M.T., Gardner, T., Nepal, S., Sharma, A.K. (2022) The impact of climate change on the irrigation water demand, grain yield of wheat crop in Nepal, Water, 14, 2728, https://doi.org/10.3390/w14172728
8. Stenzel, F., Greve, P., Lucht, W., Tramberend, S., Wada, Y., Gerten, D. (2021) Irrigation of biomass plantations may globally increase water stress more than climate change, Nature communications, 12, 1512, https://doi.org/10.1038/s41467-021-21640-3
9. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., Katsoulas, N. (2020) Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change, Agronomy, 2020, 10(8), 1120, https://doi.org/10.3390/agronomy10081120

Necesitatea irigării culturilor

Necesitate și scop

Mai puțin de 65% din apa utilizată pentru irigații este folosită de plante. Mai mult, diferite culturi au necesități diferite care depind de stadiul lor de dezvoltare și alți parametrii. În acest capitol discutăm despre cum se poate determina necesitatea de apă a unei culturi, pentru a putea adopta astfel practici sustenabile de irigații și a utiliza tehnologiile potrivite [1].

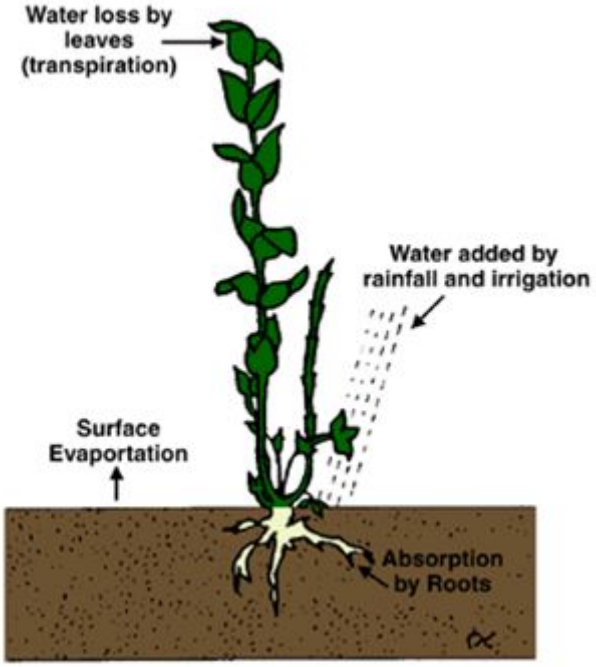


Figura 1 Pierderea și absorbția apei de către plantă.

Sisteme de irigații: părți componente

Irigațiile reprezintă un domeniu al cunoașterii bazat pe observații pe termen lung și experimente legate de proviziile de apă ale culturilor din diferite surse altele decât cele naturale, provenite din precipitații. Un sistem de irigație reprezintă totalitatea lucrărilor prin care acest deziderat este atins, incluzând:

-lucrări de captare a apei din surse de apă (consumul de apă);

-transportul apei prin canale de la sursă la zona irigată (canale) și rețele de distribuție a apei pe zona irigată. Acestea includ construcțiile realizate pentru reglare, măsurare, conexiuni, automatizare, etc.;

-instalații de udare, care iau apa de la rețeaua de distribuție și o conduc către plante în zona rădăcinilor acestora;

-canale pentru colectarea și evacuarea excesului de apă.

Principalele sisteme de irigații sunt cel gravitațional, numit și irigație de suprafață, sau sistemele de curgere, irigații prin pompare, irigarea mixtă, irigarea prin picurare și irigarea prin stropire. Un sistem eficient de irigație trebuie să țină seama de două aspecte importante: rețeaua hidraulică și programarea acesteia, responsabilă pentru eficiența rezultatului. Managementul irigațiilor se referă la găsirea metodei propice, a cantității optime de apă și a modului în care acesta trebuie distribuită. Aceste proceduri nu sunt fixe deoarece, în funcție de situație, pot apare multe variabile cum ar fi condițiile meteorologice, probleme ale echipamentelor, etc. Pe baza acestor considerente, cel mai bun

management constă în adaptarea planificării irigațiilor astfel încât să fie limitate probleme legate de apariția unor astfel de situații.

Există încă multe necunoscute în ceea ce privește de exemplu necesitățile diferitelor culturi. Sunt cunoscute dependențele între valorile medii ale necesarului de apă și cele ale recoltei. Cu toate acestea, schimbarea programului udărilor cu o singură zi poate avea efecte neprevăzute. Condițiile locale sunt de asemenea importante, astfel încât realizarea unui model pentru programarea udărilor trebuie să țină seama neapărat de aceste informații. În final, după stabilirea necesarului unei anumite culturi, trebuie efectuate calcule pentru sistemul hidraulic folosit. Astfel, realizarea unui plan de irigații necesită mai întâi determinarea necesarului de apă, apoi planificări în câmp bazate pe sistemul utilizat.

Pentru evaluarea cantității de apă necesare, trebuie cunoscute informații despre cerințele zilnice, lunare și anuale de apă ale culturilor, numărul de zile fără precipitații, echipamentul de irigare etc. Apoi, este necesar să se verifice, pe baza resurselor de apă existente, dacă irigarea culturilor este un proces fezabil. Dacă da, atunci ar trebui să se facă calcule pentru a determina care este sistemul optim de irigare. Dacă nu este fezabil, se pot face totuși ceva, în special atunci când cantități mai mici de apă fac încă diferența în ceea ce privește culturile. În unele zone ale lumii, există cote lunare și anuale, astfel încât programarea udărilor ar trebui să țină cont și de aceste informații, cum ar fi programul de irigare care nu depășește cantitățile maxime zilnice. Alegerea metodei de irigare este determinată de mai mulți factori, printre care disponibilitatea apei, topografia terenului, tipul de sol și climat, aspectele economice și aspectele legate de operator. Vom detalia în continuare aceste aspecte.

Tipuri de aranjamente și metode de irigare

Tipul de aranjament se referă la modul în care este realizată rețeaua de distribuție, care poate fi alcătuită din canale deschise (cu sau fără înveliș), conducte îngropate (la presiune redusă sau ridicată) sau o combinație a acestora (unele elemente sunt alcătuite din canale și altele - de obicei, distribuitoarele de sector - sunt conducte îngropate). Metoda de irigație înseamnă tehnica și metodele de aplicare sau distribuție a apei pe terenurile irigate, în scopul obținerii unei producții maxime sau optime din punct de vedere economic. Diferențele referitoare la condițiile topografice, pedologice și hidrogeologice, culturile irigate, sursele de apă utilizate, precum și factorii socio-economici determină alegerea metodei de irigație.

Criteriile pentru alegerea metodei de irigație se referă la: condițiile naturale ale solului (textura, permeabilitatea, grosimea etc.), pânza freatică (adâncimea și gradul de mineralizare), teren (înclinarea, gradul de uniformitate al microreliefului și posibilitățile de nivelare a terenului), condiții tehnice referitoare la regimul de irigație necesar culturilor vizate și posibilitățile de realizare a acestuia cu metoda de irigație respectivă precum și condițiile impuse de respectarea cerințelor de protecție a mediului. De asemenea, se iau în considerare: tipul și dimensiunea exploatației agricole, disponibilitatea forței de muncă pentru udare, disponibilitatea capitalului, cantitatea și calitatea apei disponibile și costul acesteia, posibilitățile de automatizare oferite de metoda de udare, posibilitățile de realizare a fertigației, rotația culturilor și variația pe care o permite fiecare metodă. Metodele de irigație folosite în tehnicile de irigație pot fi clasificate în funcție de mai multe criterii, cel mai adesea în funcție de metoda de aplicare a apei:

1.irigarea prin aspersie

a) cu instalațioi mobile

b) cu instalații semi-fixe sau autopropulsate

c) cu instalații fixe sau acoperire totală

2.irigarea folosind forța gravitațională

a) pe brazde

b) prin inundarea solului

c) prin scurgere pe pante

d) prin inundare (culturi de orez)

e) prin deversare în bazine

3. **irigare localizată**

a) prin picurare (micro-irigare)

b) prin rampe perforate

4. **irigarea subterană**

a) prin reglarea nivelului apei (numită și sub-irigare)

b) cu drenuri, tuburi cu găuri, etc

Necesarul de apă al culturilor

Necesarul de apă al unei culturi reprezintă cantitatea de apă necesară plantelor pentru a compensa pierderile de apă datorate evapotranspirației, astfel încât cultura să aibă condiții optime de creștere și producția să atingă maximul în mediul existent. Parametrii care determină nevoile de apă ale unei culturi sunt:

1. climatul (care influențează direct procesul de evapotranspirație);
2. tipul culturii (speciile diferite necesită cantități diferite de apă pentru dezvoltare);
3. fenofaza în care se aplică irigațiile (în ultimele etape de dezvoltare, plantele pot necesita mai multă apă decât în primele etape de dezvoltare).

1. Influența climatului asupra necesarului de apă al culturilor

Cantitatea de apă necesară unei culturi este puternic determinată de condițiile de mediu: temperatură, umiditate, soare, precipitații și vânt. În climatul umed, există suficiente precipitații pentru a satisface nevoile plantelor pentru apă; aici, problema constă în excesul de apă existent pe câmp, o problemă care poate fi rezolvată cu sisteme de drenaj. În climatul semi-umed și semi-arid, există încă precipitații importante, dar acestea nu acoperă întotdeauna nevoile plantelor, mai ales în timpul sezonului uscat când irigațiile sunt obligatorii. În climatul semi-arid, arid și deșertic, cultivarea oricărei culturi fără irigații este imposibilă. Cerințele de apă pentru irigații sunt definite de FAO-56 [1]. În zonele calde, uscate și vântoase, necesitățile de apă ale culturilor sunt cele mai mari, în timp ce cele mai scăzute sunt în zonele reci, înnorate și cu umiditate ridicată, cu mai puțin vânt. Acești factori sunt încorporați într-un parametru numit **evapotranspirația de referință a culturii (ETo)**, exprimată în mililitri în unitate de timp (de exemplu, zi, lună, sezon). Cultura de referință este iarba, și astfel, evapotranspirația de referință a culturii reprezintă „rata de evapotranspirație dintr-o suprafață mare, acoperită cu iarbă verde, cu o înălțime de 8 până la 15 cm, care crește activ, umbrește complet solul și care nu suferă de lipsă de apă”[1].

Rata de evapotranspirație a culturii de referință poate fi determinată experimental (utilizând o tavă de evaporare) sau poate fi calculată teoretic, pe baza datelor climatice (de exemplu, metoda Blaney-Criddle). Experimental, sunt folosite mai multe tăvi de evaporare, cum ar fi tăvile de tip A sau Colorado. Tava este instalată în câmp și o cantitate cunoscută de apă este plasată în tavă (suprafața tăvii și adâncimea apei sunt cunoscute sau măsurate); apa se evaporă într-un interval de timp (de exemplu, 24 de ore), iar cantitatea rămasă este măsurată la sfârșitul intervalului de timp respectiv (inclusiv

eventualele precipitații). Evaporarea din tavă trebuie multiplicată cu un coeficient de tavă pentru a determina evapotranspirația culturii de referință, după cum urmează:

$$ETo = K_{tavă} \times E_{tavă}$$

unde ETo este evapotranspirația culturii de referință, $E_{tavă}$ este apa evaporată din tavă, iar $K_{tavă}$ este coeficientul tăvii [1]. În cazul în care nivelul apei scade foarte mult, atunci se adaugă apă, măsurându-se adâncimea înainte și după adăugare; același lucru este valabil și în cazul precipitațiilor. Coeficientul de tavă depinde de tipul tăvii, locație și climă, valorile variind între 0,35 și 0,85 pentru tava de evaporare de tip A și între 0,45 și 1,10 pentru tava Colorado scufundată.

Pentru a determina rata de evapotranspirație a culturii de referință se pot folosi și metode teoretice, printre care și metoda Blaney-Criddle. Aceasta se bazează pe temperatura medie zilnică.

$$ETo = p(0.46 \cdot T_{medie} + 8)$$

unde p este procentul mediu anual al insolației iar T_{medie} este temperatura medie zilnică. Temperatura medie este evaluată ca media între temperaturile medii minime și maxime în timpul lunii. Procentul mediu zilnic al insolației poate fi găsit în funcție de latitudinea aproximativă a zonei. Precizia acestei metode este redusă, în condiții climatice extreme fiind doar o estimare aproximativă a ordinului de mărime. În funcție de climă și temperatura medie zilnică, valoarea ratei de evapotranspirație a culturii de referință se schimbă, după cum este prezentat în Tabelul 1 [1].

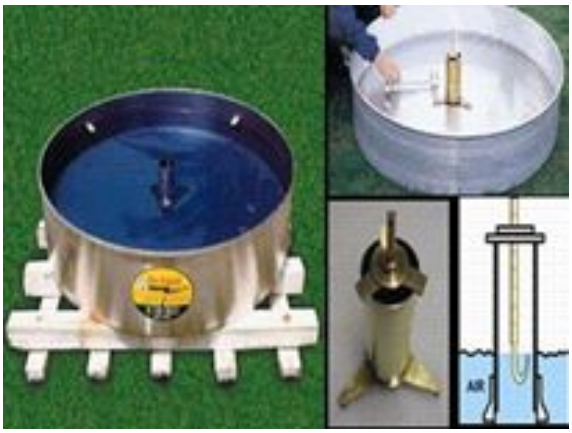


Figura 2 Tavă rotundă pentru determinarea evaporației culturii de referință.

	Temperatura medie zilnică		
Zona climatică	**Mică (<15°C)**	**Medie (15-25°C)**	**Mare (>25°C)**
Aridă	4-6	7-8	9-10
Semi-aridă	4-5	6-7	8-9
Umed moderat	3-4	5-6	7-8
Umed	1-2	3-4	5-6

2. **Influența tipului de cultură** poate fi introdusă în formulă prin intermediul factorului culturii, K_c, pentru a determina rata de evapotranspirație a unei culturi specifice. Formula este următoarea:

$$ET_{cultură} = ETo \times K_c$$

Rata de evapotranspirație a culturii este măsurată în aceleași unități ca și rata de evapotranspirație de referință. Factorul de cultură depinde și de alți câțiva parametrii: tipul de cultură (de exemplu, unele plante au frunze mai mari, astfel încât rata de evapotranspirație este crescută și factorul de cultură este supraunitar, deoarece această cultură specifică folosește mai multă apă decât iarba de referință; pentru alte specii care folosesc mai puțină apă, factorul de cultură este subunitar), faza fenologică (de exemplu, de obicei culturile folosesc mai multă apă când sunt complet dezvoltate în comparație cu necesarul de apă din primele faze fenologice) și climatul (de exemplu, climatul determină fazele fenologice și, astfel, perioada de creștere; de exemplu în climatul mai rece plantele cresc mai lent decât în cele mai calde). Factorul de cultură depinde de parametri specifici cum ar fi durata sezonului de creștere și, de asemenea, durata unor faze fenologice importante. Primul poate fi determinat cunoscând specia, condițiile climatice și data plantării. Doar ca exemplu, morcovii au o perioadă de creștere de 100-150 de zile, porumbul 120-180 de zile, ceapa verde 70-95 de zile și orezul 90-150 de zile [3-8].

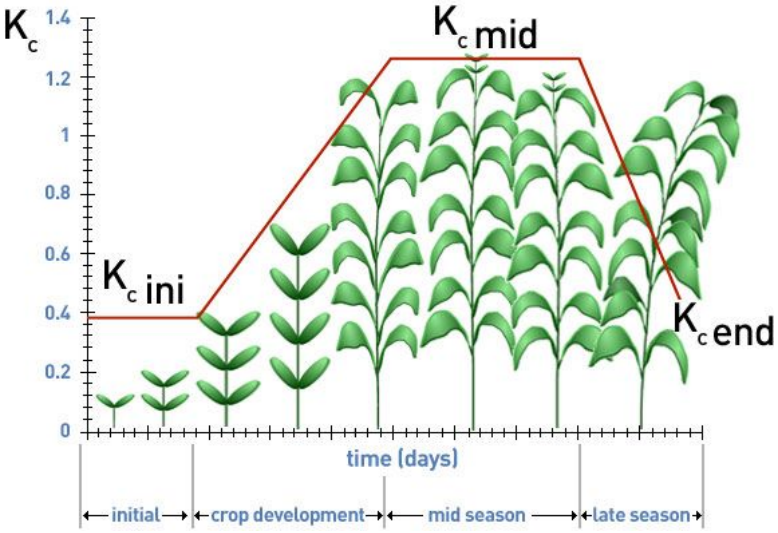


Figura 3 Modificare factorului de cultură în timpul diferitelor faze fenologice.

Pe baza informațiilor discutate mai sus, perioada de creștere este împărțită în 4 etape:

- etapa 1 - etapa inițială - de la semănat sau transplantare până când cultura acoperă 10% din sol
- etapa 2 - etapa de dezvoltare a culturii - de la sfârșitul etapei inițiale până când cultura va acoperi complet solul
- etapa 3 - etapa de mijloc a sezonului - de la sfârșitul etapei de dezvoltare a culturii până când planta atinge maturitatea
- etapa 4 - etapa târzie a sezonului - de la sfârșitul etapei de mijloc a sezonului până la recoltarea culturii.

Deoarece factorul de cultură se schimbă în fiecare lună și astfel rata evapotranspirației culturii se modifică în timp, este necesar ca aceasta să fie calculată lunar. Există și câteva cazuri speciale. De exemplu, lucerna și trifoiul sunt tăiate regulat, astfel că după tăiere ele vor fi din nou în etapa inițială. O modalitate de a depăși astfel de situații este să luăm în considerare valorile medii pentru factorul de cultură. Estimările sumare sunt făcute pentru diferite tipuri de culturi pentru a determina necesarul de apă al culturii și sensibilitatea la secetă [3-8].

Necesarul de apă pentru irigarea culturilor

De obicei, apa necesară culturilor este furnizată de ploaie. Atunci când această apă nu este disponibilă din cauza lipsei de precipitații, **necesarul de apă pentru irigații (IN)** este egal cu necesarul de apă al

culturii. Atunci când există încă precipitații, necesarul de apă pentru irigații ar fi diferența dintre necesarul de apă al culturii ($ET_{cultură}$) și apa din precipitații folosită efectiv de plante, numită precipitație efectivă (P_e), astfel:

$$IN = ET_{cultură} - P_e$$

Precipitația efectivă poate fi determinată din diferența dintre cantitatea totală de precipitații și cantitățile de evaporare, scurgere și percolare, reprezentând cantitatea de apă care rămâne în apropierea rădăcinilor plantelor.

În urma estimărilor discutate mai sus, pentru a determina necesarul de apă pentru irigații al unei culturi specifice, toți factorii discutați anterior ar trebui evaluați mai întâi, așa cum s-a discutat, putându-se determina în final necesarul de apă pentru irigația culturii respective. Acest lucru este numit metoda FAO56 și utilizează o abordare foarte simplă pentru a determina evapotranspirația unei culturi. Factorii de cultură standard sunt tabulați. Cu toate acestea, aceștia se referă la climatul standard și trebuie ajustați la climatul local. În astfel de condiții, potențialul standard ET_c este înlocuit cu evapotranspirația reală a culturii, ET_r, iar valoarea standard a K_c este înlocuită cu factorul real al culturii K_{cr}, care este produsul dintre factorul de cultură, K_c, și un coeficient de stres, K_s, care corespunde stresului hidric sau de salinitate și poate fi extins și la alte tipuri de stres.

Necesarul de apă ale culturii (NAC) reprezintă cantitatea de apă de care o cultură are nevoie pentru a-și atinge producția potențială în anumite condiții de mediu. Necesitățile nete de irigații (NIR) reprezintă cantitatea de apă care trebuie aplicată pentru a satisface necesitățile de apă și se calculează prin scăderea precipitațiilor, ascensiunea capilară și variația stocării apei din sol din NAC și adăugarea percolației profunde din zona rădăcinii solului (DP) și scurgerii (SC). Astfel, necesitățile brute de irigații pot fi de asemenea definite astfel [3]:

$$NIR = \frac{NAC + DP + SC}{FAB}$$

unde FAB este fracția de apă benefică utilizată, numită și eficiența udării sau eficiența combinată a conducției, distribuției și aplicării când sunt luate în considerare pierderile operaționale în canale.

Detectarea stresului hidric

Detectarea stresului hidric al plantelor poate fi realizată prin reducerea conținutului de apă din sol sau prin răspunsul fiziologic al plantelor la deficitul de apă [8-14]. O estimare aproximativă a necesităților de apă ale culturii nu este suficientă pentru irigația durabilă și eficientă. Există mai multe metode pentru cuantificarea stresul hidric al culturilor în vederea implementării unei programări optime a udărilor

1. Măsurători ale apei din sol includ:

- *metoda gravimetrică* (solul este uscat și cântărit înainte și după pentru a estima cantitatea de apă);

- *senzorii de umiditate a solului* (sonda cu neutroni, TDR și FRD bazate pe diferența dintre constanta dielectrică a apei și a solului)

-*tensiometre* (măsoară potențialul apei)

2. Abordarea bazată pe studiul echilibrului apei din sol (umiditatea solului este determinată prin calcul)

3. **Abordări bazate pe plante**

- *conductanța stomatală*

- *potențialul de apă al frunzei*

- *conținutul relativ de apă*

- *măsurători ale fluxului de sevă*

- *diametrul tulpinii și al fructelor*

4. **Detecție la distanță**

- *Termometrie cu infraroșu* (temperatura coronală crește ca urmare a stresului hidric)

- *indici spectrali de vegetație*: indici structurali (sunt măsurați indicii de reflexie în domeniul spectral VIS și IR apropiat), indici xantofili (măsoară indicele de reflexie fotochimică legat de ciclul xantofil), indici de apă (măsoară reflexia în regiunea IR apropiat pentru a determina conținutul de umiditate al coroanei) [5].

Metodele convenționale utilizate pentru monitorizarea stresului hidric se bazează pe măsurătorile de umiditate și datele meteorologice. Se eșantionează sol din apropierea rădăcinilor și se estimează deficitul de apă în sol. Metoda nu este foarte precisă deoarece presupune o densitate uniformă a plantelor și aceeași rată de transpirație pentru toate plantele. Metodele de evapotranspirație descrise mai sus sunt laborioase și oferă uneori informații nesigure. Alte metode folosesc conductanța stomatală și potențialul de apă al frunzei pentru a oferi o imagine a necesarului de apă al plantei.

Detecția la distanță este o metodă propusă recent pentru detectarea stresului hidric în plante prin indici de reflexie spectrală. Aceste tehnici sunt mai mult conectate cu managementul irigației care va fi discutat într-o altă prelegere. Aceste tehnologii au fost propuse de mulți ani, dar abia recent au devenit mai populare, odată cu ultimele progrese în domeniul camerelor de termodetecție cu rezoluție înaltă [5]. Unele lucrări recente au sugerat, de asemenea, integrarea datelor de teledetecție cu cele legate de echilibrul apei din sol pentru a optimiza gestionarea apei în irigații. Proprietățile spectrale ale frunzelor nu depind doar de apă; proprietățile solului, structura coroanei, grosimea și vârsta frunzelor și alți factori similari pot influența răspunsul spectral legat de apa din plantă. În prezent se desfășoară cercetări pentru a crește precizia unor astfel de metode, deoarece teledetecția permite monitorizarea în timp real a stresului hidric în plante, poate acoperi suprafețe mari și permite prelucrarea rapidă a informațiilor, oferind astfel posibilitatea de a acționa rapid [12-14].

Bibliografie

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
2. Ihuoma, S.O., Madramootoo, C.A. (2017) Recent advances in crop water stress detection, Computers and Electronics in Agriculture, 141, 267-275,
3. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.026.
4. Pereira, L.S., Paredes, P., Jovanovic, N. (2020) Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO65 method and the dual K_c approach, Agricultural Water Management, 241, 106357, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357.
5. Virnodkar, S.S., Pachghare, V.K., Patil, V.C., Jha, S.K. (2020) Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: a critical review, Precision Agriculture, 21, 1121-1155, https://doi.org/10.1007/s11119-020-09711-9.

6. Gerhards, M., Schlerf, M., Mallick, K., Udelhoven, T. (2019) Challenges and Future Perspectives of Multi-/Hyperspectral Thermal Infrared Remote Sensing for Crop Water-Stress Detection: A Review. Remote Sens. 11, 1240. https://doi.org/10.3390/rs11101240/
7. Danielescu, S., MacQuarrie, K.T.B., Zebarth, B., Nyiraneza, J., Grimmett, M., Levesque, M. (2022) Crop Water Deficit and Supplemental Irrigation Requirements for Potato Production in a Temperate Humid Region (Prince Edward Island, Canada). Water 14, 2748. https://doi.org/10.3390/w14172748.
8. Pereira, L.S. ed., (2021) Editorial – Updated and advances to the FAO56 crop water requirements method, Agricultural Water Management, 248, 106697,
9. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106697.
10. Alghory, A., Yazar, A. (2019) Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigation wheat, Irrigation Science, 37, 61-77, https://doi.org/10.1007/s00271-018-0603-y.
11. Jackson, R.D., Kustas, W.P., Choudhury, B.J. (1988) A reexamination of the crop water stress index, Irrigation Science, 9, 309-317, https://doi.org/10.1007/BF00296705.
12. Wanjura, D.F., Hatfield, J.L., Upchirch, D.R. (1990) Crop water stress index relationships with crop productivity, Irrigation Science, 11, 93-99, https://doi.org/10.1007/BF00188445.
13. D'Odorico, P., Chiarelli, D.D., Rosa, L., Rulli, M.C. (2020) The global value of water in agriculture, PNAS, 117(36), 21985-21993, https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117.
14. Minhas, P.S., Ramos, T.B., Ben-Gal, A., Pereira, L.S. (2020) Croping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues, Agricultural Water Management, 227, 105832, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832.
15. Current perspective to predict actual evapotranspiration D. Bucur Ed., IntechOpen, Croatia, 2017, https://doi.org/10.5772/65621.
16. Advanced Evapotranspiration Methods and Applications, D. Bucur Ed., IntechOpen, London, UK, 2019, https://doi.org/10.5772/intechopen.73720.

Irigarea prin scurgere la suprafață

Considerații generale

Irigația la suprafață reprezintă un grup de metode de irigație în care gravitația este folosită pentru aplicarea apei, o tehnologie foarte comună care este folosită de mii de ani. Deoarece nu există control asupra distribuției apei, un alt nume pentru această tehnică este "irigație prin inundație" [1,2]. Acest lucru implică faptul că în general nu este o tehnologie durabilă, nu utilizează bine sursele de apă și eficiența este redusă. Cu toate acestea, această tehnologie este foarte folosită, în special pe suprafețe mici, fiind preferată mai ales din punct de vedere financiar atunci când tehnologiile mai scumpe nu sunt disponibile, deoarece necesită echipamente speciale. Alegerea metodei de irigație depinde și de tradiție, micii fermieri putând să nu accepte tehnologii care nu au fost folosite anterior în zonă [1-3].

Cantitatea de muncă implicată în construirea, operarea și întreținerea sistemului este mare (de exemplu, nivelarea regulată a terenului, întreținerea regulată și organizarea la un nivel mai ridicat decât în cazul altor tehnologii de irigație). Printre tehnicile incluse în irigația la suprafață se numără: bazinul nivelat, șanțul și fâșia de graniță. Aceste metode pot fi împărțite în două categorii: cu acumulare (când apa se adună într-o baltă) și cu deplasarea apei (care necesită o scurgere sau acumulare pentru a asigura infiltrarea apei în sol). Pentru a evita evaporarea apei, de obicei, această metodă de irigație este aplicată în timpul nopții sau dimineața devreme, când rata de evaporare este scăzută [1-3].

Irigația la suprafață este un proces în patru etape:

1. apa este dirijată la capătul superior al câmpului, astfel încât să curgă peste el; aceasta este numită **faza de avansare**
2. după ce ajunge la capătul inferior al câmpului, fie se scurge fie se acumulează; aceasta este **faza de stocare**
3. după oprirea fluxului la capătul superior al câmpului, începe **faza de epuizare**, reprezentând un timp scurt în care câmpul este inundat până când apa se scurge sau se infiltrează
4. **faza de recesiune** este perioada în care frontul de apă se deplasează spre capătul inferior al câmpului.



Figura 4 Exemplu de câmp irigat la suprafață.

Tipul de sol este foarte important în irigația la suprafață. Dacă proprietățile sale sunt foarte diferite în cadrul câmpului, pot apare complicații în calcularea debitului de apă și momentul udării. Problema este

depășită de noile tehnologii de irigație. În ceea ce privește costurile, pregătirea terenului implică cheltuieli, dar ulterior, întreținerea este ieftină. Deoarece apa curge datorită gravitației, nu există costuri operaționale legate de energie în timpul utilizării unui astfel de sistem. Stabilirea cantității de apă și durata udării se realizează în funcție de rata de absorbție a solului și nevoile culturii, ducând la o bună funcționare a sistemului. Pentru aceasta, este necesară monitorizarea cu atenție a situației.

Cele mai folosite metode sunt irigația în șanțuri adânci, care este potrivită pentru culturile în rânduri largi, vița de vie, arbori, și irigația în șanțuri însămânțate, care se referă la culturile de câmp semănate în rânduri dense. Irigarea pe brazde este folosită foarte puțin și doar pentru lucernă, iar pe pante înclinate, este folosită pentru pășuni și fânețe. Irigarea prin scurgere în bazine, numită și irigație prin inundație, este folosită în cultivarea orezului. Este folosită și ca tehnică de irigație pentru spălarea solurilor sărate. Irigarea localizată este cea mai recentă metodă aflată în fază de dezvoltare, recomandată mai ales pentru livezi, vii și cultivarea legumelor în sere, solarii și în câmp. Apa este distribuită pe teren prin conducte de irigație și dispozitive de udare, fiind împrăștiată doar o parte din teren, mai precis zona în care se află sistemul radicular al plantelor.

Irigația în bazine

Cea mai comună formă de irigație la suprafață este reprezentată de irigația în bazine. Metoda este aplicată în principal în câmpuri mici, nivelate în toate direcțiile și înconjurate de un dig astfel încât să nu existe scurgere și nici flux direcțional, de aceea fiind numită bazin. Această metodă de irigație este preferată pentru solurile cu absorbție lentă a apei și culturi cu rădăcini adânci. Un avantaj este că sărurile spălate de la suprafața solului vor ajunge în apele subterane adânci. Sistemul este folosit în țările mai puțin dezvoltate, fiind dificil de implementat din cauza dificultății nivelării precise a solului.

Irigația pe margine

În acest sistem de irigație, câmpul este împărțit în benzi care sunt separate de marginile de graniță orientate pe direcția pantei câmpului, astfel încât apa să fie inundată în partea de sus a câmpului și să ajungă în partea de jos prin gravitație. Aceasta corespunde cu exemplul dat în Figura 1.

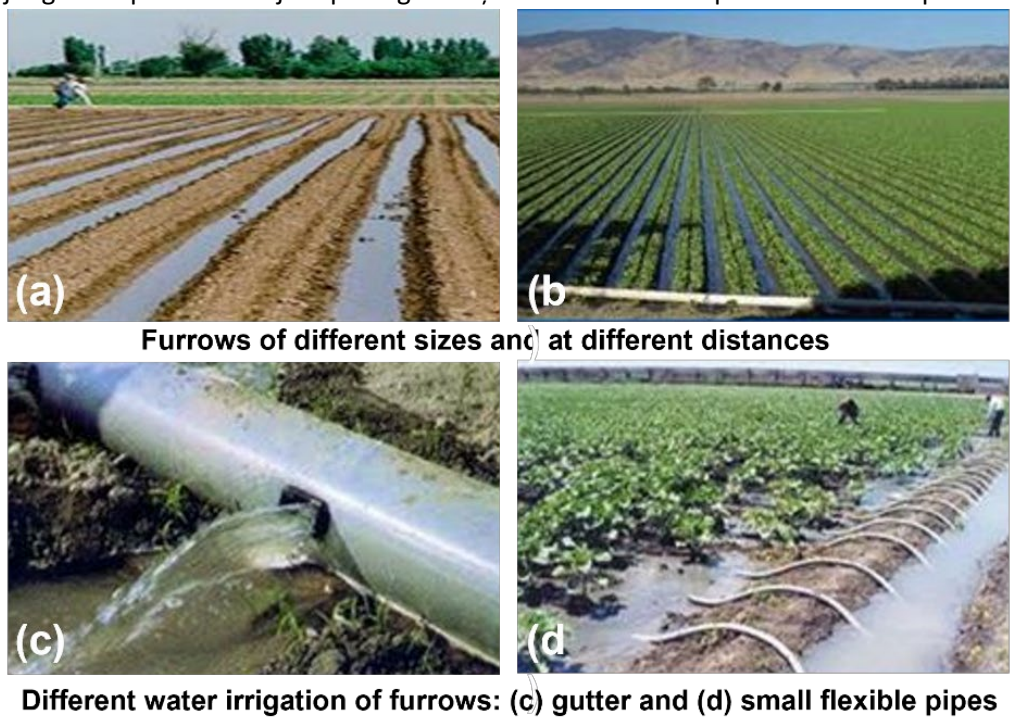


Figura 5 Irigarea pe brazde în diferite condiții.

Irigația în șanțuri

Această metodă este o variantă a irigației în bazine. Canalele/șanțurile sunt construite în direcția fluxului de apă, astfel încât apa să infiltreze în jos și lateral. Unele dintre aceste sisteme sunt prezentate în Figura 2 și Figura 3, cu diferite distanțe între șanțuri și dimensiuni diferite ale acestora, precum și sisteme de apă utilizând jgheaburi (Figura 2 (c)), conducte (Figura 2 (d)), sau tuburi flexibile (Figura 3 (b) și (c)). Distanțele dintre șanțuri sunt stabilite în funcție de textura solului, astfel încât să se asigure suprapunerea bulbilor de udat. Modelul de udat depinde de tipul de sol: solul fin (Figura 4 (a)) are bulbii de udat mai mici, în comparație cu solul grosier (Figura 4 (b)), apa având un comportament diferit. Retenția apei în sol depinde foarte mult de dimensiunea particulelor, conținutul organic și structura solului. Apa se mișcă prin sol datorită gravitației și se găsește în macropori, considerându-se că aceasta nu este disponibilă pentru plante. Apa capilară se găsește în micropori, cea mai mare parte fiind disponibilă pentru plante. Cantitatea reținută în sol depinde foarte mult de dimensiunea și spațiul porilor. Apa higroscopică formează un film subțire în jurul particulelor de sol și nu este disponibilă pentru plante. Unele tipuri de sol, cum ar fi argila, conțin mai multă apă higroscopică [1-3].

Uneori, irigația în șanțuri este construită împreună cu bazine și margini ca o adaptare la variațiile topografice ale parcelei respective. Comparativ cu celelalte două metode de irigație la suprafață, irigația în șanțuri necesită mai multă pregătire a parcelei. Salinitatea poate influența negativ acest tip de irigație, potențialul de eroziune fiind, de asemenea, crescut.



(a) furrow making **(b) and (c) flooding equipment with flexible tubes**

Figura 6 Irigarea în brazde folosind tuburi flexibile.

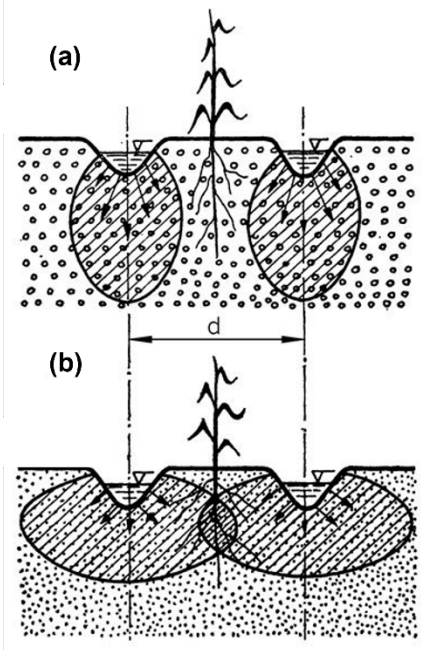


Figura 7 Reprezentare schematică a bulbilor de udare în funcție de tipul de sol (a) cu densitate scăzută și (b) ridicată.

Impactul irigației la suprafață

În special în zonele puternic irigate, aceste practici produc schimbări importante în ciclul apei terestre, afectând calitatea și cantitatea apei. Chimia apei subterane este determinată de factori naturali; de exemplu, în zonele aride sau semi-aride, sărurile pot să se acumuleze la suprafață, atât în apă, cât și în sol. Efectul irigației asupra chimiei apei este determinat de mulți factori, cum ar fi condițiile de drenaj, condițiile hidrogeologice și calitatea apei de irigație. Astfel, pentru o mai bună gestionare a apei, au fost efectuate mai multe studii pentru a determina influența irigațiilor asupra chimiei apei subterane [3-9]. Rezultatele indică faptul că, pe termen lung, irigația la suprafață schimbă hidrochimia și calitatea apei subterane, prin creșterea salinității și problemelor de saturare a solului cu apă. Reducerea resurselor de apă este, de asemenea, o problemă serioasă în zonele în care se folosesc irigații la suprafață, astfel că o gestionare intensivă și integrată a resurselor de apă este necesară pentru a satisface nevoile producătorilor agricoli și, în același timp, pentru a realiza dezvoltarea durabilă a zonelor respective. Uniformitatea distribuției apei în cazul irigației la suprafață este mai mică decât în alte metode, deoarece apa este distribuită diferit în câmp. Dacă îngrășămintele sunt distribuite în timpul irigației, va exista o scurgere de nitrați în apele subterane și o distribuție inegală a îngrășămintelor [3-9].

Majoritatea sistemelor de irigații din lume sunt de suprafață, deoarece metoda este ușor de implementat și implică costuri reduse. Din păcate, eficiența acestei metode este foarte scăzută, aproximativ 40%. Proiectarea unui sistem de irigație la suprafață eficient implică mulți parametri. Printre aceștia importanți sunt infiltrația solului, rugozitatea suprafeței solului, panta câmpului, capacitatea de reținere a apei de către sol și geometria canalelor. Modelarea sistemului trebuie să ia în considerare aceste aspecte, precum și sustenabilitatea, pentru a determina volumul de apă necesar sau variația adâncimii pe care apa pătrunde. Pentru a identifica relațiile între variabilele de proiectare și producția culturii, este necesar să se determine timpul și frecvența udărilor, adâncimea critică de aplicare a apei, producția, alte variabile de proiectare, costurile implicate în realizarea sistemului și costurile operaționale, precum și relația dintre toate acestea și venituri.

O modalitate de a crește eficiența irigației la suprafață este utilizarea modelelor de simulare care examinează fluxul unidirecțional pe un câmp. Există și modele 2D, dar sunt limitate deoarece nu simulează drenajul. Aceste modele dau rezultate mai bune chiar și atunci când se consideră microtopografia câmpului și s-au dovedit utile pentru studiul curgerii apei la suprafață și a drenajului în condiții complexe de câmp. Aceste modele s-au dezvoltat atât de mult încât pot rezolva și probleme la diferite nivele de efort: condiții de efort ridicat și scăzut, legate de efortul necesar pentru implementarea unui astfel de sistem [6-8].

Eroziunea indusă de irigații

Irigația în brazde este inerent o tehnologie erozivă. Multe dintre practicile agricole (de exemplu, lucrările solului, irigația) și factorii de mediu (de exemplu, vântul, precipitațiile) pot induce eroziunea solului. În cazul irigației, aceasta este denumită "eroziune indusă de irigații". Problema apare, în special, în zonele irigate aride unde în mod tipic există un orizont A subțire, cantități reduse de materie organică, iar aceste soluri au o structură slabă, ceea ce le face extrem de predispuse la eroziune. Odată afectate, aceste soluri se refac foarte lent [9-13].

Irigația la suprafață, precum și celelalte metode pe care le vom discuta în următoarele capitole, pot induce într-o oarecare măsură eroziunea solului, existând însă diferențe semnificative între procesele care au loc pentru tipuri diferite de sisteme de irigații. Eroziunea cauzată de irigația la suprafață apare în timpul evenimentelor mici, în locul precipitațiilor puternice. Pe măsură ce apa se infiltrează în sol, fluxul și volumul scad odată cu distanța. Cu toate acestea, pe măsură ce infiltrația solului scade, fluxul

și volumul apei vor crește în timp, detașând sedimente și transportându-le împreună cu fluxul de apă. Pentru o durată lungă de timp a udării, este posibil ca capetele superioare ale șanțului să devină mai adânci și mai înguste, în timp ce șanțul inferior devine mai puțin adânc și mai larg. În cazul prelucrării recente a solului, solul liber este spălat din șanț în timpul irigației, producând fragmente groase care pot bloca partea de jos a șanțului. Atunci când șanțul începe să fie inundat, udarea solului uscat produce dezintegrarea rapidă a acestuia care se duce în aval, crescând adâncimea fluxului în șanțul inferior și reducând forța de frecare [10-13].

Eroziunea este, de asemenea, influențată de compoziția chimică a apei de irigație. Dacă apa are concentrații ridicate de sodiu, argilele se îngroșă, sunt apoi dispersate sau agregatele formate sunt fracturate, iar particulele eliberate din agregate blochează porii suprafeței, ducând la o creștere atât a scurgerii, cât și a pierderilor în sol [10-13]. Problemele sunt mai pronunțate în cazul câmpurilor mari, eroziunea având loc pe întreg câmpul. Se estimează că pierderea anuală de sol datorită irigației la suprafață variază în funcție de tipul de cultură, proprietățile solului, înclinare și debitul de curgere.

Pentru a reduce eroziunea, există mai multe lucruri care pot fi făcute, cum ar fi reducerea fluxurilor de intrare, reducerea lungimii șanțului, adăugarea unei conducte intermediare, construirea șanțurilor astfel încât acestea să vină sub un unghi față de direcția pantei decât să ruleze paralel cu direcția fluxului, monitorizarea uniformității aplicării udărilor, utilizarea irigației intermitente (aplicația intermitentă a fluxurilor), schimbarea calității apei. Scurgerile pot fi, de asemenea, gestionate pentru a controla pierderea de sol sub irigația la suprafață prin utilizarea sistemelor de reciclare a scurgerilor cu pompe, bazine pentru colectarea scurgerilor și permiterea sedimentării particulelor de sol, cum ar fi drenurile îngropate cu tuburi de stâlp. Aceste sisteme au multe avantaje, printre care cresc randamentul culturilor la capetele câmpului, reduc problemele de buruieni care sunt comune în apropierea rigolelor umede și aduc mai mult teren în producție. Eroziunea și pierderea apei în sol sunt reduse prin utilizarea de mulci care cresc forța de frecare și încetinesc fluxul, permițând infiltrația apei sau păstrarea resturilor de cultură pe câmp, aceste resturi putând fi folosite ca mulci, în special în sistemele cu rotația culturilor [9-13]. Eroziunea poate fi, de asemenea, redusă prin plantarea culturilor pe rânduri înguste sau duble, terenul fiind stabilizat de sistemele radiculare ale plantelor. O altă metodă mai nouă este adăugarea de polimeri organici cu masă moleculară mare în apa de irigație la suprafață. Rolul acestor polimeri este de a stabiliza solul de-a lungul perimetrului șanțului udat, crescând rata de infiltrare a apei în timp. În acest fel, este posibil să se reducă pierderea de sol din șanț cu aproximativ 95% cu un minim management și costuri reduse. Înțelegerea procesului de eroziune datorată irigației este importantă deoarece efectele negative pot fi limitate sau aproape eliminate prin utilizarea unor practici adecvate. Vom discuta acest subiect într-o altă prelegere.

Bibliografie

1. Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., Heibloem, M. (1989) Irrigation Water Management: Irrigation Methods, Training Manual no. 5, Food and Agriculture Organization, Rome.
2. Pereira, L.S., Goncalves, J.M. (2018) Surface irrigation, Environmental Science, https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.248.
3. Elattar, M.H., Derbala, A.A., Elmetwalli, A.M., Hassan, S.S., Elglaly, A.M. (2022) Effectiveness of surface irrigation modernization on irrigation efficiency and productivity, Journal of Sustainable Agricultural and Environmental Sciences, 1(1), 210-222.
4. Nashrollahi, A.H., Ahmadi, H., Sabzervari, Y., Nouri, S. (2020) Comparison of variations of water stress index of chika bean plant under surface irrigation and drip tape irrigation using infrared thermometer, Journal of Water and Soil Science, 20(2), 13-26, http://dx.doi.org/10.47176/jwss.24.2.40692.

5. Jia, H., Qian, H., Zheng, L., Feng, W., Wang, H., Gao, Y. (2020) Alteration to groundwater chemistry due to modern water transfer for irrigation over decades, Science of the Total Environment, 717, 137170, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137170.
6. Liu, Y., Wang, N., Jiang, C., Archer, L., Wang, Y. (2020) Temporal and spatial distribution of soil water and nitrate content affected by surface irrigation and fertilizer rate in silage corn fields, Scientific Reports, 10, 8317, https://doi.org/10.1038/s41598-020-64876-7.
7. Githui, F., Hussain, A., Morris, M. (2020) Incorporating infiltration in the two-dimensional ANUGA model for surface irrigation simulation, Irrigation Science, 38, 373-387, https://doi.org/10.1007/s00271-020-00679-y.
8. Pazouki, E. (2021) A practical surface irrigation system design based on volume balance model and multi-objective evolutionary optimization algorithms, Agricultural Water Management, 248, 106755, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106755.
9. El-Nashar, W., Elyamany, A. (2023) Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: a value engineering approach, Water Resources Management, 37, 2369-2386, https://doi.org/10.1007/s11269-022-03353-4.
10. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., Katsoulas, N. (2020) Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. Agronomy, 10, 1120. https://doi.org/10.3390/agronomy10081120.
11. Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Strelkoff, T.S. (2007) Chapter 8 In Irrigation-Induce Erosion, in Irrigation of Agricultural Crops, volume 30, second edition, American Society of Agronomy, https://doi.org/10.2134/agronmonogr30.2ed.c8.
12. Wallace, A. (1998) Use of water-soluble polyacrylamide for control of furrow irrigation-induced soil erosion, in Handbook of soil conditioners, Marcel Dekker, Inc., New York.
13. Lehrsch, G.A., Bjorneberg, D.L., Sojka, R.E. (2005) Erosion Irrigation-Induced, Encyclopedia of Soils in the Environment, 456-463, https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00561-0.

Irigarea prin aspersiune

Am arătat anterior că irigarea la suprafață, metodă utilizată pe scară largă, este foarte ineficientă și nu este sustenabilă. Ca alternative mai noi și mai moderne există irigarea prin aspersiune și irigarea prin picurare. Irigarea prin aspersiune sau "ploaia artificială" are o eficiență bună a aplicării care depinde de condițiile climatice (de exemplu, vânt, temperatură, umiditate). Apa este distribuită mai întâi sub presiune într-un sistem de conducte, apoi se răspândește pe suprafața solului. Metoda este potrivită pentru terenuri mici și mari și pentru toate tipurile de culturi. Echipamentul de irigare poate fi mobil, semi-fix sau fix. De asemenea, poate fi utilizat pentru umezire, ca antigel și cu scopuri termice, precum și pentru îmbunătățirea calității fructelor [1-4].

Principiul de operare

Irigarea prin aspersiune are multe variante, de la aspersoare cu acționare mecanică simplă folosite pentru irigarea gazonului și grădinilor, până la echipamente industriale. Un sistem de aspersiune are următoarele componente:

- **unitatea de pompare** - este de obicei o pompă centrifugă sau cu turbină care furnizează apă sub presiune (din sursa de apă) în sistemul de conducte. Utilizarea unui tip specific de pompă este aleasă în funcție de sursa de apă; când sursa este un puț adânc, se preferă o pompă cu turbină. Pompele centrifuge sunt preferate când distanța între pompă și sursa de apă este mică (mai puțin de 8 m).

- **conductele principale**, **subconductele** și **lateralele** - conductele principale și subconductele sunt conducte care iau apa de la pompă și o transmit către laterale, fiind uneori îngropate. Lateralele sunt conducte mobile care duc apa la aspersoare. Aceste conducte sunt de obicei făcute din aluminiu sau PVC pentru sistemele portabile, și din ciment, PVC, oțel înfășurat pentru lateralele sau conductele principale îngropate.

- **aspersoarele** - capul de aspersor are rolul important de a distribui uniform apa peste câmp, fără scurgeri sau pierderi de apă datorate percolării. Capetele aspersoare pot fi fie fixe, fie rotative, în funcție de necesități, cu diferite distanțe de operare (10 - 70 m). Aspersoarele sunt realizate din metal, plastic sau o combinație a celor două. Tipul, presiunea de lucru, suprafața de irigare, mobilitatea și alți parametri pot fi diferiți la aspersoare diferite [5-7].

- **echipament opțional** - pentru a opera în condiții optime un sistem de irigare prin aspersiune, se pot utiliza echipamente opționale. Diferite informații colectate pot fi transmise la distanță, sau unele părți ale instalației, cum ar fi cele care reglează debitul de apă, pot fi de asemenea controlate de la distanță.

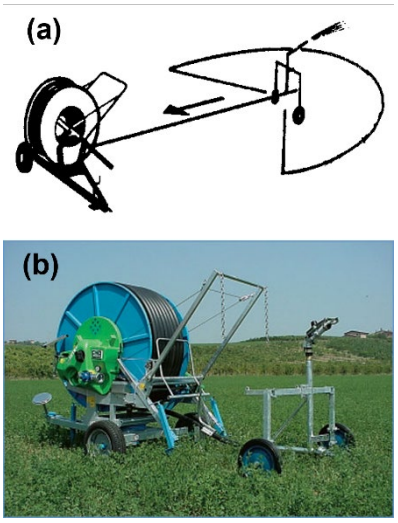


Figura 1 (a) Reprezentare schematică și (b) echipament real cu echipament real ci tambur și furtun.

Echipamentul mobil de aspersoare poate fi construit ca un sistem de aspersoare îngropate în sol cu următoarele configurații:

a) în cazul utilizării conductelor îngropate de înaltă presiune, presiunea necesară pentru stropirea apei este creată de echipamentul de aspersoare cuplat cu hidranții la sistemul de conducte sub presiune

b) în cazul utilizării conductelor îngropate de presiune redusă, presiunea în aspersoare este dată de pompe conectate la conductele principale care împing apa în laterale

c) cu canale, presiunea de lucru în laterale este produsă cu echipamente de pompare care iau apa din canale fie direct în laterale, fie în conducta principală.

Sistemul de aspersoare cu tambur și furtun (Figura 1) este un sistem mobil care asigură necesitățile de apă pentru orice cultură. Are următoarele componente:

- cadru metalic echipat cu două roți pentru a putea fi ușor de deplasat; are două picioare de sprijin și un cric ajustabil.
- cadru care susține tamburul, conducta principală, un sistem hidraulic folosit pentru a opera tamburul, cadru de suspendare pentru camion și un sistem de frânare.
- furtun de polietilenă de înaltă densitate, cu o lungime de 300 până la 750 m, un diametru extern de 75 până la 160 mm și o grosime a pereților de 8 mm; furtunul este rulat pe tambur.
- sistemul de aspersoare format din două aspersoare reactive, ARS-2, plasate pe un camion cu patru roți, care răspândesc apa într-un sector circular.



Figura 2 Sistem de irigare prin aspersiune cu pivot central.

Când dispozitivul are o poziție fixă, poate iriga o suprafață cu lungimea egală cu cea a furtunului și cu o lățime de 54 m. În fiecare poziție de lucru, înainte de stropire, furtunul este întins de-a lungul unui coridor fără plante pe o distanță de 2,1 m, operație realizată prin deplasarea camionului de susținere metalic folosind un tractor. Când începe stropirea, furtunul este, de asemenea, tras înapoi la tambur datorită motorului hidraulic, care determină mișcarea sistemului de suport al aspersoarelor. Deoarece irigarea are loc pe sectoare circulare, camionul se deplasează pe sol uscat. Când sistemul de stropire ajunge la tambur, circuitul de apă este oprit automat. Viteza medie poate fi reglată în funcție de necesarul de apă, presiunea de lucru și tipurile de aspersoare.

Sistemele de aspersoare auto-propulsate cu pivot central (Figura 2) pot fi utilizate în diferite configurații formate din cercuri sau și/sau sectoare circulare, după cum este prezentat și în Figura 3. Lungimea aripilor poate varia de la 150 până la 700 m, în timp ce suprafața acoperită poate fi de la 5

până la 250 ha. Sistemul are un pivot central, cu mai multe segmente de conducte conectate între ele și susținute de grinzi (rampe) montate pe turnuri cu roți. Apa vine de la conducta principală în pivotul central, care susține și sistemul. Aspersoarele utilizate funcționează la presiune redusă și sunt diferite în funcție de cultura irigată. Pentru a asigura uniformitatea distribuției apei, sistemele au regulatoare de presiune între rampe. Panourile de control sunt bazate pe tehnologia Sistemului de Management Asistat de Calculator (SMAC) pentru monitorizarea la distanță a sistemului. În acest fel este posibil să se ajusteze intensitatea apei stropite în funcție de viteza vântului, introducerea îngrășămintelor sau a substanțelor chimice de combatere a dăunătorilor și inversarea mișcărilor sistemului. Când pornesc motoarele, un sistem de traductoare care estimează unghiul dintre rampe controlează funcționarea acestora; pe baza informațiilor de la traductoare începe mișcarea camioanelor. Viteza rampelor poate fi ajustată pentru ca apa să atingă intensitatea specifică ploii. Există variante operaționale pentru care pivotul central poate fi mutat, așa cum se poate vedea în Figura 4. În ambele cazuri, principiul este același, singura diferență fiind mișcarea automată/manuală a pivotului central [5-9].



Figura 3 Suprafețe circulare irigate cu sisteme cu pivot central.

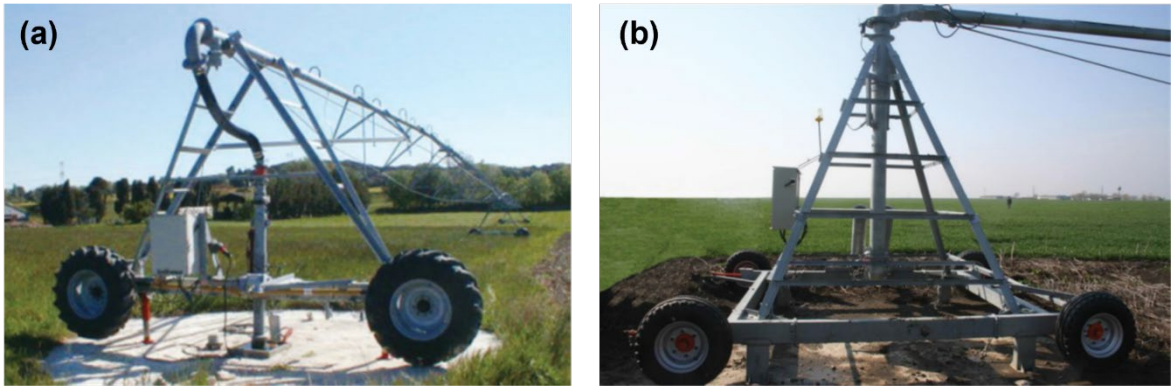


Figura 4 Sistem cu pivot central (a) operat automat (b) mișcat neautomat.

Acest sistem de aspersoare poate fi, de asemenea, utilizat pentru fertilizare; în acest caz există un rezervor special în care se plasează îngrășămintele. Rezervorul este conectat la apa de irigație. Răspândirea îngrășămintelor pe parcursul perioadei de vegetație este avantajoasă deoarece scade costurile, irigația și fertilizarea fiind realizate simultan; frunzele și/sau rădăcinile asimilează mai bine elementele nutritive dizolvate în apă, crescând eficiența îngrășămintelor. Fertilizarea realizată odată cu irigarea este avantajoasă în special pentru culturile care se comportă mai bine dacă îngrășămintele sunt aplicate în timpul vegetației, dar datorită vegetației este greu să se efectueze procesul folosind alte mijloace mecanice [10, 11].

Fertilizarea ar trebui să fie realizată la momente specifice, cele mai importante condiții fiind următoarele:

- ar trebui aplicată pentru culturile cu cerințe ridicate de minerale și apă în timpul stadiului de vegetație. Ca exemplu, porumbul în a doua cultură poate fi fertilizat în toate etapele de creștere începând cu semănatul.

- aplicarea în principal a îngrășămintelor care conțin azot, deoarece în timpul stadiului de vegetație plantele răspund de obicei mai bine la dozele de azot decât la fosfor sau potasiu. În culturile de sfeclă de zahăr, îngrășămintele pe bază de potasiu aplicate prin fertilizare realizată odată cu irigarea favorizează creșterea conținutului de zahăr din rădăcini.

- se dorește utilizarea îngrășămintelor foarte solubile, datorită faptului că substanțele nedizolvate pot bloca aspersoarele

- perioada de aplicare a îngrășămintelor ar trebui să fie scurtă, între 30 și 60 de minute, pentru a asigura distribuția controlată și uniformă. Mai mult, fertilizarea ar trebui să aibă loc la sfârșitul perioadei udării, dar înainte de terminare, astfel încât substanțele nutritive să aibă posibilitatea de a fi absorbite și pentru a evita deteriorarea sistemului prin coroziune

- ploaia de aspersoare ar trebui să aibă o uniformitate bună; astfel, fertilizarea nu ar trebui să fie efectuată în perioadele cu vânt. Echipamentul de fertilizare este prezentat în Figura 5. Constă dintr-un rezervor cu două conducte flexibile, una pentru introducerea apei, iar cealaltă pentru injectarea apei în sistemul de aspersoare. Cantitatea de îngrășământ este calculată în funcție de concentrația substanței active și doza de distribuită pe suprafața solului.



Figura 5 Echipament utilizat pentru fertilizare prin sistemul de irigare cu pivot central.

Sistemele de aspersoare pot fi automatizate astfel încât să evalueze necesarul de apă în timp real și să activeze/oprească fluxul de apă. Irigarea cu rată variabilă (IRV) este o tehnologie automată de irigare bazată pe o matrice de senzori care detectează umiditatea solului. Este folosită în agricultura de precizie pentru a optimiza mai ales irigarea prin utilizarea pivotului central. Schimbarea cantității de apă se realizează prin controlul unui sistem de supape. Astfel, se efectuează irigații optimizate, reducând consumul de apă și crescând producția. IRV poate fi aplicată cu succes și pentru fertilizare și alte metode ce constau în aplicarea diferitelor substanțe chimice prin utilizarea unui echipament suplimentar care injectează substanțele chimice în linia principală și un sistem de pompe pentru a trimite soluția la presiunea corectă [12-14].

Sistemele de irigație cu deplasare liniară asigură o uniformitate și eficiență ridicate, fiind potrivite pentru câmpuri de formă rectangulară. Sistemul se deplasează înainte și înapoi pe întregul câmp. Sursa de apă poate fi diversă, de la lacuri, râuri până la canale și conducte. Mai multe tronsoane sunt conectate în linie; sistemul este mutat de două sau patru cărucioare. În comparație cu sistemele cu

pivot central, acestea acoperă și colțurile câmpului. Mișcarea tronsoanelor liniei poate fi realizată și folosind cabluri. Apa poate fi furnizată din laterale sau din mijlocul sistemului prin furtunuri din polietilenă de înaltă densitate.

Există mai multe tipuri de sisteme liniare. Sistemul ideal este unul liniar cu două roți, folosit în general în câmpuri de dimensiuni mici. Un sistem cu alimentare dublă utilizează apa dintr-un șanț sau canal de pământ ca sursă de apă. Un astfel de sistem este ideal pentru câmpuri mari, fiind ușor de operat deoarece sistemul se deplasează de-a lungul canalului de apă. Sistemul cu alimentare prin furtun utilizează apa dintr-un sistem presurizat. Datorită prezenței furtunului, este mai potrivit pentru câmpuri mai mici decât cele mai mari.

Eroziunea datorată irigării prin aspersiune

În cazul irigației prin aspersiune, apa lovește solul cu o anumită viteză, ceea ce face posibilă desprinderea agregatelor și fragmentelor de sol, care sunt apoi transportate în fluxul de suprafață și, în unele puncte, sunt depuse. Pentru a evita această situație, este necesar ca sistemele de aspersiune să fie proiectate și operate corespunzător. Sistemele cu pivot central aplică apa cu un debit mare, ceea ce crește potențialul de a provoca scurgerea și eroziunea. Cel mai important component implicat în eroziune este tipul de aspersor. Utilizarea aspersoarelor cu presiune redusă reduce scurgerea, dar numai rata de aplicare este redusă. Mărimea picăturilor de apă este, de asemenea, importantă. Pentru sistemele cu deplasare laterală, în urmele lăsate de roți apa se scurge dacă acestea rulează în paralel cu panta câmpului. Pentru a limita sau evita eroziunea, pot fi luate mai multe măsuri, cum ar fi atenția în alegerea tipului de aspersor, presiunea, diametrul (care determină mărimea picăturilor de apă), toate acestea ducând la reducerea debitului și limitarea eroziunea fără însă a reduce eficiența irigației. În ansamblu, acest lucru poate fi o sarcină dificilă.

Avantajele și dezavantajele irigării prin aspersiune

Implementarea unui sistem de irigație prin aspersiune nu necesită terasarea sau nivelarea terenului, fiind independentă de topografia câmpului [15-19]. Necesarul de apă al plantelor poate fi acoperit ușor pentru orice tip de cultură și sol, fiind, de asemenea, posibilă efectuarea unor tratamente simultane cu îngrășăminte sau pesticide [20-21]. Utilizarea unui sistem presurizat necesită o cantitate mare de energie, mai mare decât în cazul altor tehnologii de irigație, precum și o investiție considerabilă în echipamente. Plantele sunt predispuse la boli deoarece apa umezește suprafața frunzelor. Eficiența consumului de apă scade în zonele cu vânt din cauza evaporației crescute a apei de la suprafața solului.

Bibliografie

1. Daccache, A., Knox, J.W., Weatherhead, E.K., Daneshkhaha, A., Tess, T.H. (2015) Implementing precision irrigation in a humid climate-recent experiences and on-going challenges, Agricultural Water Management, 147, 135-143.
2. Deines, J. M., Kendall, A. D., Crowley, M. A., Rapp, J., Cardille, J. A., Hyndman, D. W. (2019) Mapping three decades of annual irrigation across the U.S. High Plains Aquifer using Landsat and Google Earth Engine. Remote Sens. Environ., 233, 111400 https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111400.
3. Current perspective to predict actual evapotranspiration D. Bucur Ed., IntechOpen, Croatia, 2017, https://doi.org/10.5772/65621.
4. Advanced Evapotranspiration Methods and Applications, D. Bucur Ed., IntechOpen, London, UK, 2019, https://doi.org/10.5772/intechopen.73720.
5. Li, Y., Hui, X., Yan, H., Chen, D. (2020) Effects of Travel Speed and Collector on Evaluation of the Water Application Uniformity of a Center Pivot Irrigation System. Water, 12, 1916. https://doi.org/10.3390/w12071916.

6. Silva, L.L. (2006) The effect of spray head sprinklers with different deflector plates on irrigation uniformity, runoff and sediment yield in a Mediterranean soil. Agr. Water Manage., 85, 243–252,
7. Rovelo, C.O.R., Ruiz, N.Z., Tolosa, J.B., Felix, J.R.F., Latorre, B. (2019) Characterization and simulation of a low-pressure rotator spray plate sprinkler used in center pivot irrigation systems. Water, 11, 1684
8. Abd El-Wahed, M.H., Medici, M., Lorenzini, G. (2015) Harvesting water in a center pivot irrigation system: Evaluation of distribution uniformity with varying operating parameters. J. Eng. Thermophys.-Rus., 24, 143–151
9. Wang, Z., Jiang, Y., Liu, J., Li, H., Li, H. (2022) Experimental Study on Water Distribution and Droplet Kinetic Energy Intensity from Non-Circular Nozzles with Different Aspect Ratios. Agriculture, 12, 2133.
10. Peña, D., Martín, C., Fernández-Rodríguez, D., Terrón-Sánchez, J., Vicente, L.A., Albarrán, Á., Rato-Nunes, J.M., López-Piñeiro, A. (2023) Medium-Term Effects of Sprinkler Irrigation Combined with a Single Compost Application on Water and Rice Productivity and Food Safety. Plants, 12, 456.
11. Liu, J., Wang, X., Liu, Q., Hussain, Z., Zhao, Y. (2023) Optimization of Key Hydraulic Structure Parameters of a New Type of Water–Pesticide Integrated Sprinkler Based on Response Surface Experiment. Water, 15, 1486. https://doi.org/10.3390/w15081486.
12. Kumar, R., Naresh, R.K., Bhatt, R., Chandra, M.S., Kumar, D., Alamri, S., Siddiqui, M.H., Alfagham, A.T., Kalaji, H.M. (2023) Tillage Crop Establishment and Irrigation Methods Improve the Productivity of Wheat (Triticum aestivum): Water Use Studies, and the Biological Properties and Fertility Status of Soil. Agronomy, 13, 1839, https://doi.org/10.3390/agronomy13071839.
13. Cooley, D., Maxwell, R.M., Smith, S.M. (2021) Center pivot irrigation systems and where to find them: a deep learning approach to provide inputs to hydrologic and economic models, Frontiers in Water, 3, https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786016.
14. Liakos, V., Vellidis, G., Tucker, M., Lowrance, C. (2015) A decision support tool for managing precision irrigation with center pivots, In: Precision agriculture'15, pp. 677-684, Wageningen Academic Publishers, http://dx.doi.org/10.3920/978-90-8686-814-8_84.
15. Dusadeerungsikul, P.O., Liakos, V., Morari, F., Nof, S.Y., Bechar, A. (2020) Smart action, in Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming, pp. 225-277, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818373-1.00005-6.
16. Fastellini, G., Schillaci, C. (2020) Precision farming and IoT case studies across the world, in Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming, pp. 331-415, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818373-1.00007-X.
17. Haacker, E. M., Kendall, A. D., Hyndman, D. W. (2016) Water level declines in the High Plains Aquifer: Predevelopment to resource senescence, Groundwater, 54(2), 231-242. https://doi.org/10.1111/gwat.12350
18. King, B.A., Stark, J.C., Wall, R.W. (2006) Comparison of site specific and conventional uniform irrigation management for potatoes. Applied Engineering in Agriculture, 22(5), 677-688.
19. Longchamps, L., Khosla, R., Reich, R., Gui, D.W. (2015) Spatial and temporal variability of soil water content in leveled fields. Soil Science Society of America Journal, 79, 1446-1454.
20. Smidt, S. J., Haacker, E. M., Kendall, A. D., Deines, J. M., Pei, L., Cotterman, K. A., Hyndman, D. W. (2016) Complex water management in modern agriculture: Trends in the water-energy food nexus over the High Plains Aquifer. Sci. Total Environ., 566-567, 988-1001. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.127
21. Svedin, J.D., Hansen, N.C., Kerry, R., Hopkins, B.G. (2019) Modelling spatio-temporal variations in crop water stress for variable-rate irrigation. In J.V. Stafford (ed.) Precision Agriculture '19, Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers. pp. 687-693.

Irigarea prin picurare

Introducere

Metodele tradiționale de irigație la suprafață nu sunt eficiente, iar din acest motiv au fost dezvoltate noi tehnologii de irigație pentru a satisface necesitățile de apă ale plantelor și pentru a crește productivitatea. Una dintre aceste metode, bazată pe utilizarea apei sub presiune, este irigația prin picurare. Cunoscută și sub numele de irigație prin tuburi de picurare, aceasta funcționează cu fluxuri lente de apă care picură pe sol în apropierea rădăcinilor plantelor. Tehnologia poate fi ușor adaptată la diferite tipuri de sol și câmpuri cu pante diferite. Este o metodă foarte eficientă deoarece apa este distribuită doar în zona imediată a rădăcinilor plantelor [1-4]. Irigația prin picurare oferă, de asemenea, posibilitatea de a fi utilizată în combinație cu o stație de tratare a apei. Cantitatea de apă necesară este cu până la 50% mai mică decât în cazul altor tehnologii, ceea ce este benefic mai ales că, datorită faptului că apa ajunge pe sol doar în anumite zone, apare o reducere a creșterii buruienilor. Sistemul poate fi, de asemenea, folosit și pentru aplicarea îngrășămintelor la fel ca în cazul metodelor de irigare prin aspersiune [1-5].

Principiul de bază

Apa curge printr-un sistem de conducte de distribuție și ajunge în sol prin intermediul unor dispozitive speciale de eliberare lentă, amplasate pe conductele circulante la diferite distanțe (Figura 1). În acest fel, apa este aplicată eficient la rădăcinile plantelor, se limitează evaporarea și problema drenajului. O componentă foarte importantă a irigației prin picurare este sistemul de filtrare a apei, deoarece acesta trebuie să asigure transportul apei fără a se produce înfundarea diferitelor părți ale sistemului. Deoarece debitul de curgere al apei este mic, irigația se face mai frecvent decât cu celelalte metode [5].



Figura 1 Exemplu de conducte de udare (linii de picurare).

Un sistem tipic de irigație prin picurare constă dintr-o pompă care asigură presiunea corespunzătoare pentru ca apa să fie livrată prin sistemul de conducte, o unitate de control, care este compusă dintr-un sistem de filtrare, un sistem de măsurare a apei și un sistem de supape care reglează presiunea, unele sisteme pot avea și un rezervor pentru îngrășământ, așa cum vom discuta mai târziu, conducte principale, subconducte și laterale care îndrumă apa în câmp, și picurătoare, dispozitive folosite pentru a controla descărcarea apei către plante. Distanța dintre picurătoare depinde de tipul de cultură și este dată de spațierea plantelor în câmp. Reprezentarea schematică a unui sistem de irigație prin picurare este prezentată în Figura 2.

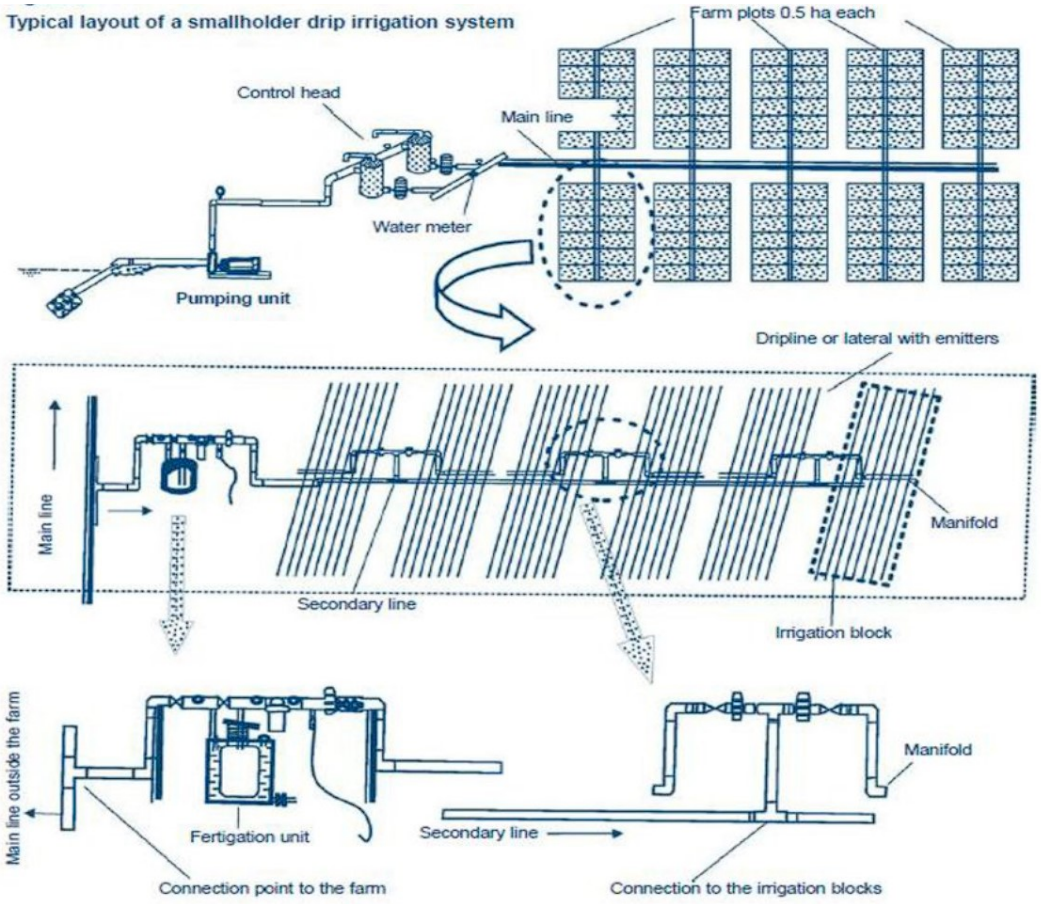


Figura 2. Reprezentare schematică a unui sistem de irigație prin picurare pentru ferme mici.

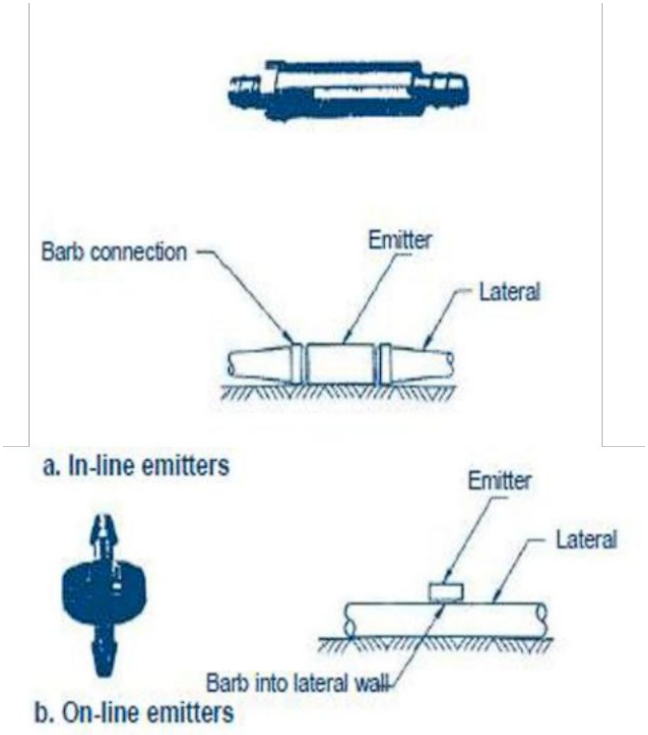


Figura 3.8 Reprezentare schematică a (a) picurătoare cu traseu lung și (b) picurătoare cu traseu scurt.

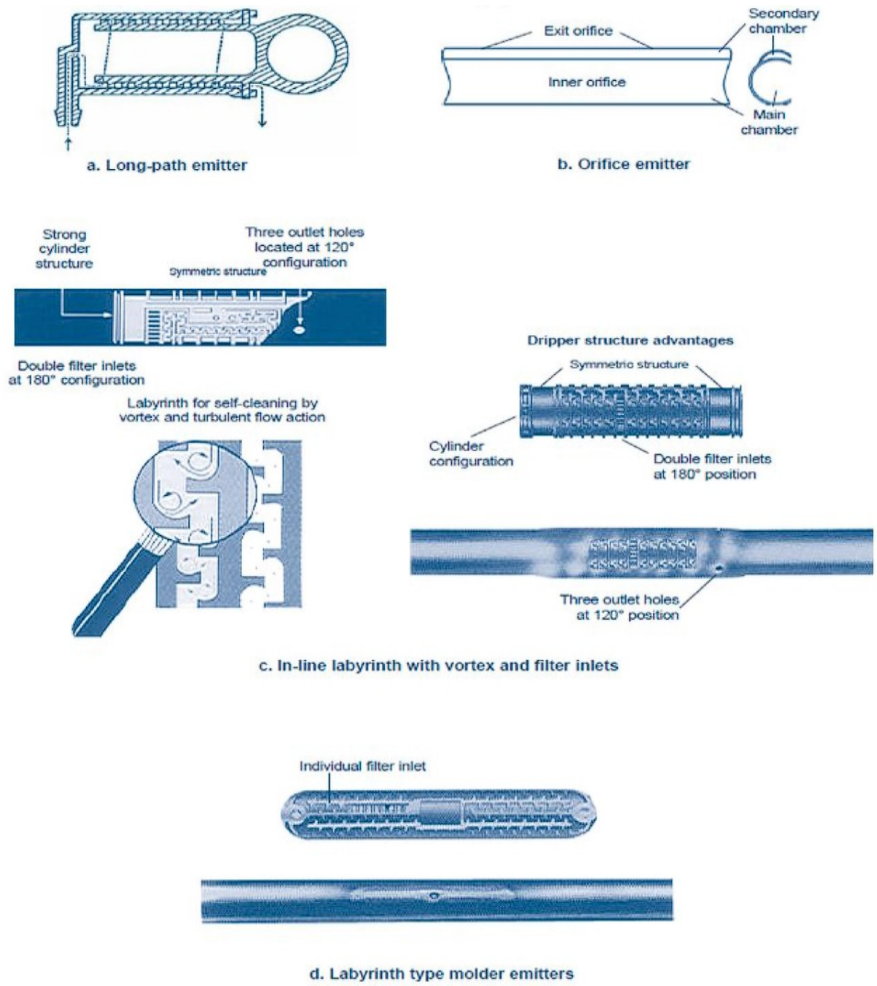


Figura 4. Diferite tipuri de picurătoare utilizate în irigarea prin picurare.

Picurătoarele controlează cantitatea de apă precum și rata de curgere livrată plantelor, fiind o parte esențială a sistemului de irigație [5]. Acestea pot fi împărțite în două categorii mari, în funcție de conexiunea lor la laterală (Figura 3):

1. **Picurătoarele** plasate pe partea inferioară a conductelor laterale sunt folosite în special în livezi, grădini pomicole și uneori pentru irigații în ghivece; acestea pot avea diferite diametre (12 până la 22 mm) și sunt de obicei montate pe partea superioară a conductelor de polietilenă prin perforare manuală.

În funcție de mecanismul folosit pentru disiparea presiunii (Figura 4), picurătoarele pot fi:

- **picurătoare cu traseu lung** - emițătoare de dimensiuni mari care au trasee lungi de apă care înconjoară un punct central. Acestea se caracterizează printr-un flux laminar.

- **picurătoare cu traseu scurt** - traseul apei este mai scurt, iar aceste emițătoare funcționează bine în sisteme de presiune redusă, permițând căderea apei datorită gravitației.

- **picurătoare cu flux turbulent** - acestea au trasee de curgere relativ lungi sau trasee scurte dar cu secțiuni transversale mari, astfel încât regimul de curgere este turbulent.

- **picurătoarele cu vârtej** - apa curge printr-o celulă rotundă care produce un flux circular și, astfel, presiunea este redusă, scăzând rata de curgere a apei. Mișcarea circulară are loc deoarece apa intră tangențial în peretele exterior, producând o mișcare de rotație rapidă care creează un vârtej. De aceea

este numit un emițător cu vârtej. Această configurație permite utilizarea de deschideri mari, sistemul fiind astfel mai puțin susceptibil la înfundare.

- **picurătoarele cu diafragmă** - aceste emițătoare folosesc o diafragmă flexibilă, uneori cu găuri, care reduce fluxul și presiunea. Un dezavantaj este că membrana poate deveni distorsionată în timp.

- **picurătoarele cu debit reglabil** - din punct de vedere al designului sunt similare cu emițătoarele cu traseu scurt, permițând un debit mai mare decât celelalte tipuri.

- **picurătoarele mecanice** - folosesc o cameră care se umple cu apă și eliberată apoi la intervale specifice.

2. Liniile de picurare - sunt o parte componentă a lateralelor. Aceste picurătoare sunt folosite în câmpuri unde există o densitate mare de plante, cum ar fi diferite culturi, livezi dense și în cazul irigațiilor subterane. Ele sunt fabricate să funcționeze la debite specifice și anumite intervale de eliberare.

- **Conducte din polietilenă de joasă densitate (LDPE/PEJD)** - acest tip de conductă este cel mai scump, dar și cel mai profesional; au o formă cilindrică și se găsesc în interiorul liniilor de picurare (vezi Figura 3 (c)).

- **LDPE plat** - pentru a economisi spațiu în timpul transportului, uneori conductele vin sub formă plană sau ovală. Aceste emițătoare au un profil mic și, astfel, nu afectează fluxul.

- **Bandă de picurare** - este folosită în câmpuri mari, în special pentru culturi de câmp, și poate fi folosită și în liniile de picurare subterane.

Este necesară dimensionarea picurătoarelor deoarece necesitățile plantelor pentru apă depind de mulți factori, așa cum s-a discutat anterior într-un alt capitol (de exemplu, stadiul de dezvoltare al plantei, climatul, parametrii solului). În afară de acești parametri, ar trebui să se ia în considerare și distanța dintre picurătoare, lungimea sistemului de conducte, topografia câmpului și distanța dintre culturi, acest ultim parametru fiind cel mai puțin important. Dacă se ține seama de aceste considerente, se poate alege un tip optim de picurătoare.

În ciuda faptului că toate elementele picurătoare sunt capabile să regleze presiunea, există și o altă clasificare:

1. **Picurătoare de compensare a presiunii** - acestea pot descărca apa la un debit uniform pe o gamă largă de presiune a apei. Picurătoarele cu diafragmă fac parte din această categorie. O membrană de silicon restricționează secțiunea de flux pe măsură ce valoarea presiunii crește. Acest tip de picurător este util atunci când există o diferență mare de elevație (> 0,5m) sau atunci când se folosesc conducte de picurare lungi.

2. **Picurătoare fără compensarea presiunii** - atunci când presiunea apei variază, acestea nu sunt capabile să o regleze așa cum fac picurătoarele de compensare a presiunii.

Tehnologia de irigație prin picurare poate fi aplicată la majoritatea culturilor, cu performanțe ridicate. Un sistem simplu de picurare poate fi realizat folosind un rezervor de apă amplasat la o anumită înălțime deasupra nivelului solului pentru a asigura presiunea și fluxul de apă în sistem. Mai întâi, apa este filtrată și ajunge la linia principală, apoi la liniile secundare, care pot fi realizate din simple conducte PCV sau alte materiale locale precum bambusul. Debitul este reglat cu o supapă. Pentru fermele mici, costurile sunt relativ reduse, în timp ce sistemele pentru fermele mari cu producție industrială necesită sisteme foarte costisitoare. Mentenanța este obligatorie; furtunurile de picurare trebuie ridicate de pe sol pentru a preveni intrarea particulelor de sol în sistem și astfel blocarea acestuia. Pentru a elimina orice agenți de blocare, trebuie efectuată o analiză a apei înainte de a decide

asupra tratamentului corespunzător al acesteia care să împiedice blocarea sistemului. Clătirea periodică a sistemului este, de asemenea, o practică bună pentru a asigura funcționarea optimă, la fel și monitorizarea periodică a debitului și presiunii [5].

Blocarea picurătoarelor este o problemă serioasă care poate avea o multitudine de cauze:

- blocarea fizică datorată prezenței de nisip, mâl, pilitură metalică, resturi de plastic, etc.

- blocarea chimică datorată precipitării sărurilor, fierului, îngrășămintelor etc.

- blocarea biologică datorată creșterii algelor și a unor filme bacteriene.

De cele mai multe ori există o combinație a acestor surse de blocare, mai ales atunci când se folosește apă de suprafață sau când apa este pompată din rezervoare deschise sau când se folosesc ape sărate și îngrășăminte. Apa sărată conține mulți cationi și anioni care pot precipita și se pot depune. Din punct de vedere chimic, un pH ridicat, concentrații mari de ioni și o duritate crescută sunt principalele posibile cauze de apariție a unor probleme.

Irigația prin picurare subterană

Există o variantă a irigației prin picurare care utilizează țevi de picurare îngropate (Figura 5). Reglarea nivelurilor freatice (sub-irigație) este potrivită doar pentru zonele în care stratul freatic este relativ superficial (1-4 m). Prin furnizarea apei adusă printr-o rețea de țevi sau canale dintr-o sursă externă, nivelul apei subterane poate fi ridicat în așa fel încât să se asigure alimentarea cu apă a plantelor prin ascensiunea capilară. De asemenea, metoda este recomandată în versiunea cu drenaje sau linii de udare perforate îngropate în sol la baza rădăcinilor plantelor, pentru irigarea folosindu-se ape uzate.



Figura 5. Exemplu de sistem de irigare prin picurare cu conducte amplasate sub suprafața terenului.

Metoda este mai eficientă decât simpla irigație prin picurare, economisind apă prin reducerea evaporării acesteia și incidenței diferiților dăunători, și oferind umezire uniformă în zona rădăcinilor plantelor. Un sistem de irigație prin picurare subterană este potrivit în zonele în care evaporarea apei crește din cauza condițiilor climatice (zone aride, temperaturi ridicate, vânt puternic), și în special pe soluri de tip nisipos. Aplicarea apei în subteran elimină mai multe dintre problemele irigației de suprafață, cum ar fi saturarea solului cu apă, formarea de bălți, scurgerile și eroziunea solului.

Tehnologia poate fi adaptată pentru orice tip de cultură; totuși, irigarea prin picurare este folosită pentru culturi de legume cu valoare ridicată, gazon și în peisagistică. S-a arătat că producția este considerabil îmbunătățită în cazul în care irigarea prin picurare este utilizată împreună cu mulciuri de plastic. Comparativ cu irigația prin picurare de suprafață, utilizarea conductelor subterane duce la o

expunere mai redusă a acestora la radiația solară și alți factori care pot duce la deteriorarea acestor componente. Tehnica poate fi folosită mult mai aproape de data tăierii, deoarece suprafața solului rămâne întotdeauna uscată și, astfel, lucrările se pot face mai ușor. În unele cazuri (lucernă), irigația prin picurare subterană poate stimula și încolțirea semințelor.

Configurația unui sistem de irigație subterană este similară cu cea a irigației prin picurare simplă. Pentru drenajul ușor, se folosește un sistem cu pompe de vid și supape pentru a elibera aerul captiv care poate perturba fluxul apei. Țevile sunt plasate sub suprafața solului la aproximativ 12 până la 50 cm, în funcție de cultură și de tipul de sol. Plasarea sistemului subteran facilitează, de asemenea, lucrările de arătură ale solului. Picurătoarele sunt instalate în sus. Sistemul necesită și o unitate de filtrare pentru motivele deja discutate în cazul irigației prin picurare.

Ambele metode de irigație prin picurare și irigație prin picurare subterană au fost studiate în paralel pentru a determina care este cea mai eficientă. Au fost făcute analize privind proprietățile solului, eficiența utilizării apei, tehnicile de cultură, programarea udărilor, randamente și alți parametri. Din toate studiile se pare că irigația prin picurare subterană este mai eficientă decât metoda de irigație prin picurare la suprafață, cu o producție mai mare, o calitatea îmbunătățită a plantelor, economie de apă (de până la 20%), ceea ce o recomandă pentru a fi folosită în zonele în care resursele de apă sunt limitate și trebuie conservate.

Îngrășămintele pot fi împrăștiate împreună cu apa pentru irigații. În acest fel, nu numai că apa și îngrășămintele ajung la plante, dar există și mai puțină pierdere a nutrienților. Cu excepția nevoilor de apă ale culturii, în acest caz, trebuie luate în considerare și alte aspecte pentru o fertilizare eficientă, cum ar fi capacitatea culturii de a absorbi nutrienții, cât de mulți nutrienți sunt în sol la un moment dat și câți nutrienți ar trebui să fie în apa folosită pentru irigare.

Concluzii

Irigația prin picurare este o metodă eficientă de irigare, implicând costuri relativ reduse și efort redus, care poate fi folosită pentru câmpuri cu forme neregulate fără nevoia de a le nivela așa cum este necesar, de exemplu, în irigația de suprafață, poate folosi apa reciclată, apa poate fi distribuită foarte uniform pe câmp, funcționează la presiuni scăzute, ceea ce înseamnă că costurile datorate consumului de energie sunt reduse și implică o pierdere mică de îngrășăminte datorată aplicării locale a apei, reducând astfel și eroziunea solului. În ciuda multor avantaje, un sistem de irigare prin picurare necesită costuri inițiale ridicate și multă întreținere, în special a sistemului de filtrare. Sistemul de conducte poate fi afectat de lumina soarelui, ceea ce duce la scurtarea duratei de viață, astfel încât în unele cazuri este preferată irigația subterană.

Bibliografie

1. van der Kooij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., Kuper, M. (2013) The efficiency of drip irrigation unpacked, Agricultural Water Management, 123, 103-110, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.014.
2. Martinez, J., Reca, J. (2014) Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 140, https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000745.
3. J.P. Venot, M. Kuper, M. Zwarteveen, Ed., Drip irrigation for agriculture, Routledge, New York, 2017.
4. Jamrey, P.K., Nigam, G.K. (2018) Performance evaluation of drip irrigation systems, The Pharma Innovation Journal, 7, 346-348.
5. Shi, K., Lu, T., Zheng, W., Zhang, X., Zhangzhong, L. A (2022) Review of the Category, Mechanism, and Controlling Methods of Chemical Clogging in Drip Irrigation System. Agriculture, 12, 202. https://doi.org/10.3390/agriculture12020202.
6. Grant, F., Sheline, C., Sokol, J., Amrose, S., Brownell, E., Nangia, V., Winter, A.G. (2022) Creating a solar-powered drip irrigation optimal performance model (SDrOP) to lower the cost of drip irrigation systems for smallholder farmers, Applied Energy, 323, 119563, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119563.

Managementul și programarea udărilor

Prezența apei în sol este importantă din mai multe puncte de vedere:

- asigură cantitatea de apă necesară pentru germinarea semințelor și creșterea plantelor;

- scade temperatura solului și mediului înconjurător;

- diluează și împrăștie sărurile acumulate la suprafața solului;

- facilitează lucrări efectuate asupra solului făcându-l mai moale;

- irigațiile ajută la creșterea plantelor chiar și în perioade lipsite de precipitații.

Majoritatea apei din sol provine fie din precipitații, fie din resursele subterane. De cele mai multe ori, umiditatea existentă în sol nu este suficientă pentru utilizarea cu succes în activități agricole și pentru a asigura producția agricolă, deficitul de apă putând fi compensat prin metode artificiale, și anume irigații. Uneori este dificil de a asigura exact cantitatea necesară de apă, apărând astfel mai multe probleme cum ar fi faptul că solul devine saturat în apă, situație în care excesul poate avea un efect negativ asupra culturilor. Pentru a evita această problemă se utilizează sisteme de drenaj, în cazul în care nu se realizează un drenaj natural. Menținerea cantității optime de apă în sol înseamnă găsirea unui echilibru între cantitatea de apă asigurată de irigații și drenaj.

Aplicarea irigațiilor la momentul optim în raport cu necesitățile plantelor este deziderатul major al tuturor practicilor de irigații. Acest moment se stabilește în funcție de mulți factori, începând cu tipul sistemului de irigații. În cazul sistemelor locale de irigații în care distribuția apei este discontinuă și la cerere, momentul optim se determină de către fermierul responsabil pentru irigarea culturilor pe baza observațiilor și măsurătorilor efectuate în câmp. Pentru sistemele foarte irigații extinse, momentul primei irigări să stabilește de către un centru de coordonare tehnic a respectivul sistem de irigații.

Stabilirea momentului aplicării primei irigații a sezonului din timpul perioadei de vegetație a culturii vizate sau începutul campaniei de irigații se face în strânsă corelație cu conținutul de apă din sol și nu depinde de tipul de sistem de irigații utilizat. Pentru determinarea momentului optim al irigațiilor există metode aproximative (empirice) dar și metode mai precise (care se bazează pe utilizarea informațiilor științifice).

Metode empirice de stabilire a momentului de aplicare a udărilor

Determinarea empirică a momentului ideal de începerea udării se bazează fie pe fazele de vegetație ale plantei de cultură, fie pe unii indici morfologici ai plantelor.
Metoda de determinare a momentului de aplicare a udării în funcție de *fazele de vegetație* are în vedere faptul că, pentru fiecare plantă consumul de apă este mai mare în unele faze de vegetație, numite faze critice. De exemplu:

- ✓ la grâu, fazele critice pentru apă sunt la: înfrățit, împăiere, înspicare-înflorire, umplerea boabelor;
- ✓ la porumb: 6 - 8 frunze, formarea paniculului, coacerea în lapte;
- ✓ la sfecla pentru zahăr: creșterea frunzelor, îngroșarea rădăcinilor, acumularea zahărului.

Întrucât s-a constatat dependența directă a recoltei de starea umidității solului în timpul fazelor critice, conducerea regimului de irigație prin aplicarea udărilor cu puțin înainte de declanșarea acestor faze de vegetație este rațională, cu condiția ca întreaga suprafață ocupată de cultură să poată fi irigată în 2 - 3 zile.
Deși acest procedeu are un caracter empiric fundamentându-se numai pe observații, fără efectuarea unor măsurători, are avantajul că asigură obținerea unei producții agricole comparabile cu cele de pe suprafețele pe care momentele de aplicare a udărilor se stabilesc după criterii riguroase. Dezavantajele constau în majorarea necesarului de forță de muncă și echipament de udare precum și în risipa de apă.

Stabilirea momentului de aplicare a udării *după observarea modificărilor ce se produc în aspectul general al plantei* datorită lipsei de apă (pierderea turgescenței, schimbarea culorii frunzelor, căderea florilor etc) nu este eficientă deoarece, când sunt vizibile aceste schimbări biologice, planta a intrat deja în suferință, fapt care se repercutează asupra nivelului și calității producției.

Metode științifice de stabilire a momentului de aplicare a udărilor

Stabilirea riguroasă a momentului de aplicare a udărilor se bazează pe datele obținute din măsurători efectuate asupra umidității sau sucțiunii solului, asupra unor indici fiziologici ai plantelor sau asupra consumului de apă mediu zilnic.

Determinarea momentului de aplicare a udării în funcție de starea de umiditate din sol este o metodă rațională dacă umiditatea se poate stabili precis, repede și economic. Umiditatea solului poate fi determinată prin diferite metodele cum ar fi metoda termică, electromerică, neutronică etc. Pentru prelevarea probelor din sol în vederea determinării umidității se stabilesc așa numitele suprafețe de control care sunt egale cu sola sau cu suprafața ocupată de cultura care se udă în numărul de zile corespunzător duratei udării.

Studiul parametrilor tehnici și funcționali ai tensiometrelor de sol

Măsurarea conținutului de apă din sol se poate face în două mari moduri:

1.**Măsurare volumetrică** – care reprezintă măsurarea procentului de apă din unitatea de volum într-o anumită cantitate de sol;

2.**Măsurare tensiometrică** – care reprezintă măsurarea forței fizice ce reține apa în sol, măsurată în centibari (cbar sau kPa) de tensiune a apei din sol.

În câmpurile irigate, sucțiunea poate fi determinată cu ajutorul unui tensiometru. Tensiometrul (Figura 1) constă dintr-un vas poros umplut cu apă, aflat în conexiune hidraulică cu un manometru care înregistrează scăderea presiunii din instrument datorată sucțiunii solului, atunci când vasul poros este plasat în sol. Tensiometrele sunt aparate precise ce permit determinarea sucțiunii solului într-un domeniu de umiditate ușor accesibil plantei.



Figura 1 Tensiometru.

Senzorul Watermark (Figura 2) este un senzor cu matrice granulară care detectează cantitatea de umiditate absorbită printr-un amestec unic de materiale compuse cu precizie sau matrice granulară. Acest amestec tamponează senzorul împotriva diferiților factor de mediu cum ar fi salinitatea și asigură o viață mult mai lungă. Citirile cu senzorul Watermark sunt calibrate pentru a reflecta aceleași valori care ar fi măsurate de un tensiometru. Acești senzori nu necesită o întreținere specială și au o durată de viață estimată de peste 5 ani, și, față de alți senzori, pot fi lăsați în pământ permanent. Senzorii Watermark necesită o putere minimă pentru a funcționa și sunt potriviți perfect pentru înregistrarea datelor sau dispozitivele IoT.



Figura 2 Senzor Watermark.

Tabelul 1 Caracteristicile generale potrivite pentru fiecare tip de senzor.

Tipul de senzor	Tipul de sol	Sensibilitatea culturii	Interval de tensiune (centibari)
Irrometer SR	Textură ușoară spre medie	Sensibilă spre mediu	15 - 75
Irrometer LT	Medii non-sol, soluri modificate, grosiere sau nisipoase	Foarte sensibilă	5 - 20
Watermark	Textură medie spre grea	Medie spre tolerant	30 - 200

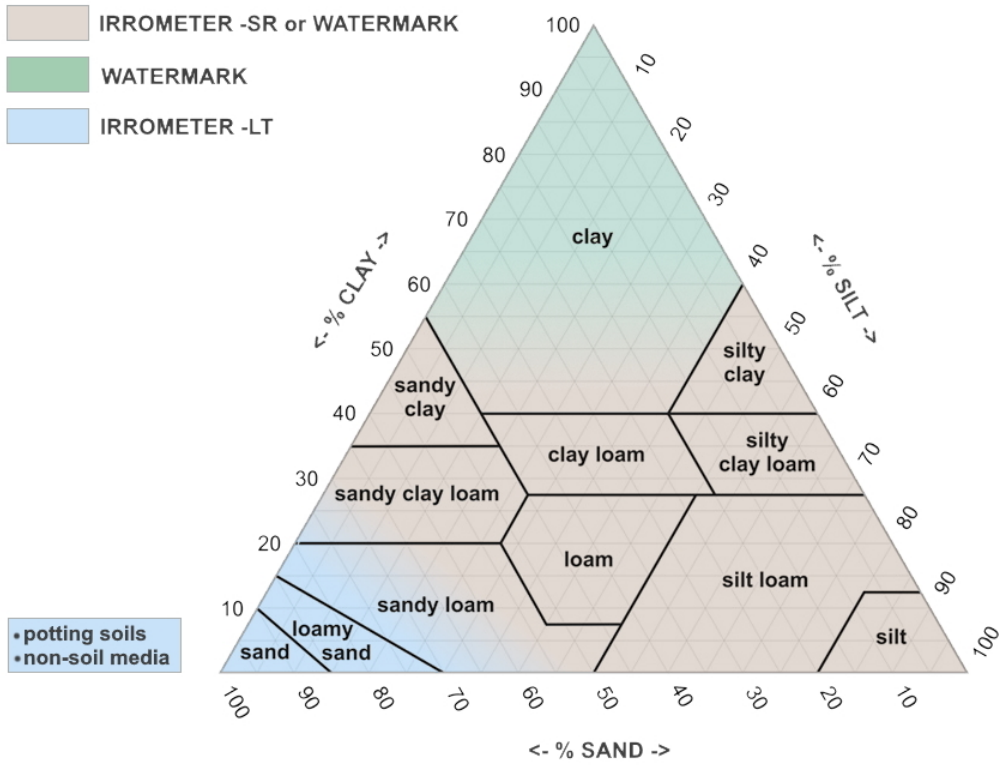


Figura 3 Domeniul potrivit pentru fiecare senzor în funcție de caracteristicile generale ale solului.

Pentru instrumente Irrometer sau senzorii Watermark se utilizează ca instrucțiuni generale citirile prezentate în Figura 4 după cum urmează:

0-10 centibari = Sol saturat

10-30 centibari = Solul este suficient de umed (cu excepția nisipurilor grosiere, care se usucă)

30-60 centibari = Interval obișnuit pentru irigare (majoritatea solurilor)

60-100 centibari = Interval obișnuit pentru irigare în argilă grea

100-200 centibari = Solul devine periculos de uscat – trebuie procedat cu prudență!

Dincolo de liniile directoare generale, alocarea timpului pentru a interpreta și înțelege datele oferă praguri mai specifice pentru irigare și o imagine mai precisă a ceea ce se întâmplă în sistemul radicular

al culturii respective. Cunoașterea câtorva concepte de bază este esențială pentru interpretarea datelor:

- ✓ *Capacitatea pentru apă în câmp*: cantitatea de apă din sol reținută în sol după ce excesul de apă s-a scurs și viteza de mișcare în jos a scăzut.
- ✓ *Coeficientul de ofilire:* Cantitatea minimă de apă din sol de care planta are nevoie pentru a nu se ofili. Aceasta este definită în mod normal ca 1500 centibari/kPa.
- ✓ *Capacitatea de apă utilă (accesibilă)*: cantitatea de apă care poate fi stocată într-un profil de sol și disponibilă pentru culturile în creștere, definită de obicei ca intervalul dintre capacitatea câmpului și punctul de ofilire.
- ✓ *Epuizarea permisă*: procentul de apă disponibilă care poate fi epuizat înainte de irigare este necesar pentru a preveni stresul culturilor.

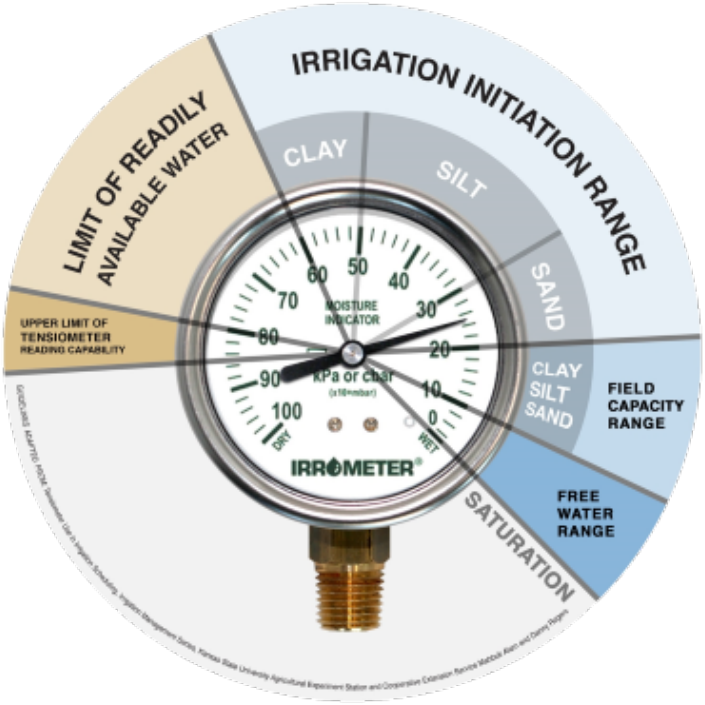


Figura 4 Instrucțiuni generale de citire a datelor.

Determinarea pragurilor de management

Pragurile sunt puncte de referință care identifică limitele superioare și inferioare pentru gestionarea epuizării permise. Acest interval depinde de tipul de sol, cultură, dezvoltarea plantelor și practicile culturale pentru gestionarea câmpului, dar un punct de plecare tipic este gestionarea între 10% la capătul umed și 40-50% la capătul uscat al epuizării apei disponibile.

Tipurile de sol variază în ceea ce privește capacitatea de a reține apa, astfel încât apa disponibilă corespunde unui interval diferit de tensiune pentru fiecare tip de sol. Cu alte cuvinte, epuizarea de 50% într-un lut pur ar fi de 84 de centibari de tensiune a apei din sol, în timp ce într-un lut nisipos ar fi de 40 de centibari. Graficul din Figura 5 afișează vizual aceste relații și oferă un ghid de referință pentru a ajuta la selectarea nivelurilor de prag adecvate.

Un calculator dezvoltat de Universitatea Cambridge este disponibil pe baza acestei diagrame și permite selectarea unui tip de sol, introducerea unui nivel de epuizare permis și apoi introducerea valorilor senzorului pentru a determina dacă este recomandată irigarea. Calculatoare similare sunt furnizate sub formă de aplicație cu informații despre sol specifice la nivel regional.

Graficul din Figura 5 demonstrează relația dintre epuizarea permisă și tensiunea apei din sol. Pentru a utiliza diagrama, se selectează tipul de sol care seamănă cel mai mult cu cel din fermă. Se desenează o linie verticală de la 10% epuizare disponibilă a apei (reprezentată de limita albastră/verde) până la curba pentru tipul de sol și apoi orizontal peste axa din stânga, etichetată, tensiunea apei din sol pentru a obține valoarea de referință UD. Aceasta va determina linia de prag inferioară (mai umedă). În acest exemplu, pentru un sol argilos, această valoare ar fi 23 (indicată de săgeata albastră).

Apoi, se construiește o verticală de la 50% epuizare disponibilă a apei (reprezentată de granița verde/maro) în jos până la curba pentru tipul de sol și apoi orizontal peste axa stângă etichetată tensiunea apei din sol pentru a obține valoarea de referință USCAT. Aceasta va determina linia de prag mai înaltă (mai uscată). În acest exemplu, pentru un sol argilos, această valoare ar fi 84 (indicată de săgeata maro). Este de reținut că nivelul de 50% este o recomandare generalizată. Pragurile de epuizare între 30% și 50% sunt tipice, metodele de irigare care aplică cantități mai mici de apă per irigare (cum ar fi pivoții centrali) favorizând intervalul de 30% până la 40%.

Nu există un substitut pentru experiența și cunoștințele agronomice pentru a oferi cele mai bune recomandări.

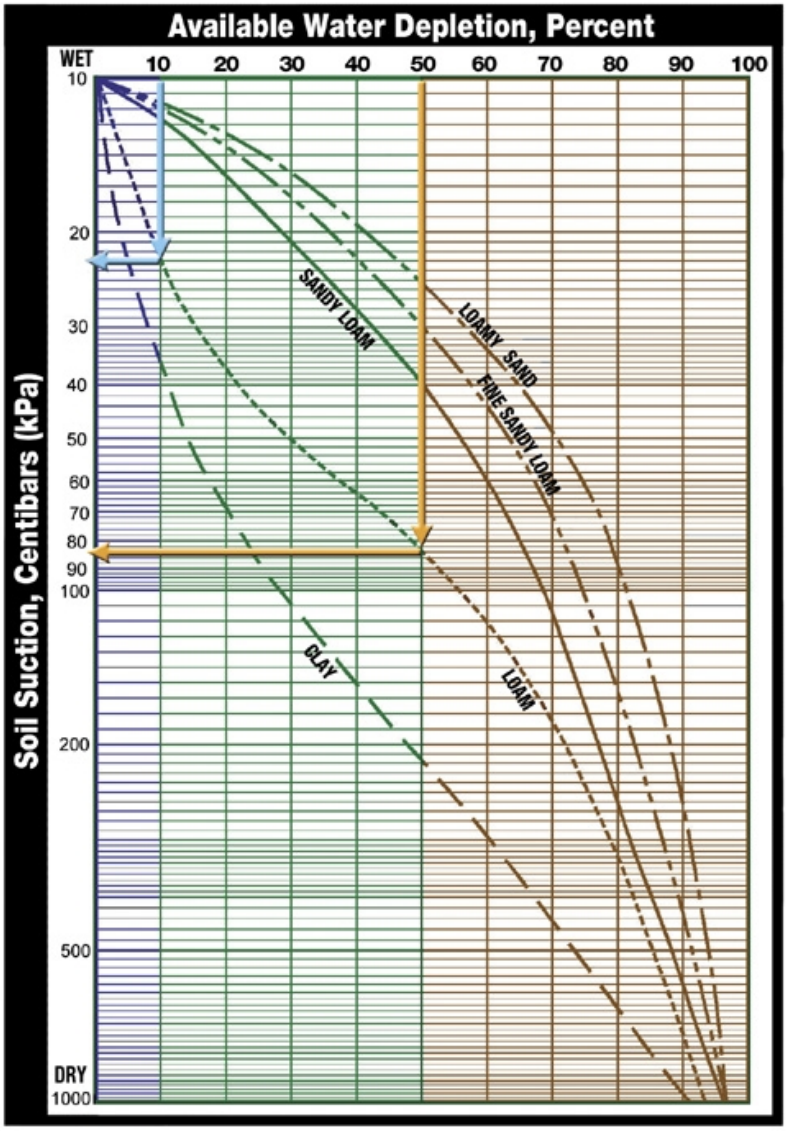


Figura 5 Curbele de sucțiune pentru diferite tipuri texturale de sol.

Tipuri de tensiometre

Tensiometrul IRROMETER (Figura 6) este standardul în măsurarea precisă a umidității solului, oferind cultivatorilor un mijloc ieftin și fiabil de măsurare a umidității solului pentru programarea irigațiilor. Un IRROMETRO va măsura tensiunea reală a apei din sol, ceea ce indică efortul necesar sistemelor radiculare pentru a extrage apa din sol. Deoarece IRROMETERUL asigură o măsurătoare adevărată a potențialului apei din sol, instrumentul nu este afectat de salinitate și nu necesită calibrare la fața locului.

IRROMETERUL este disponibil în mai multe modele, cu lungimi standard de 6", 12", 18", 24", 36", sau 48" în funcție de adâncimea de înrădăcinare a culturii specifice. Lungimi mai mari sunt disponibile la cerere.

Irometrul „SR” este instrumentul standard pentru utilizare în soluri medii până la grele. Instrumentul include un vârf filetat înlocuibil, precum și un rezervor, o cameră de măsurare fără aer și un vacuumetru IRROMETER sigilat din oțel inoxidabil cu scară dublă de centibari și kilopascali (gamă 0-100 cb/kPa).

Irrometerul SR a fost utilizat pentru prima dată în 1951 pentru a ajuta cultivatorii să îmbunătățească eficiența irigației. Acest instrument oferă utilizatorului informații precise despre starea umidității solului, indiferent de tipul de sol. Instrumentul măsoară în centibari (cb) sau kilopascali (kPa) tensiunea apei din sol. Această valoare reprezintă energia pe care sistemul radicular al unei plante o folosește pentru a extrage apa din sol. Înțelegerea activității umidității solului ajută utilizatorul să ia decizii informate privind programarea irigațiilor, ceea ce duce la îmbunătățirea randamentului și a calității, reducând în același timp costurile cu apă, îngrășăminte, forță de muncă și energie.



Figura 6 Tensiometrul Irrometer.

Principiul de funcționare: Irrometrul funcționează pe principiul tensiometrului, care măsoară tensiunea apei din sol. Tensiunea este energia (vidul) aplicată solului de către plantă în timp ce absoarbe apa necesară nutriției. Această forță este măsurată în centibari (cb) sau kilopascali (kPa) de tensiune cu o valoare ridicată indicând capătul uscat al scalei și o citire scăzută indicând capătul umed al scalei.

Instrumentul Irrometer constă dintr-un tub etanș, umplut cu fluid, care este echipat cu un vârf ceramic poros și un vacuummetru. Se instalează în pământ cu vârfurile așezate la adâncimea dorită a zonei rădăcinilor. Pe măsură ce solul se usucă (tensiunea crește), fluidul este extras din instrument. Acest lucru reduce volumul de lichid în instrument, creând astfel un vid parțial care este înregistrat pe gabarit. Cu cât solul este mai uscat, cu atât citirea ecartamentului este mai mare. O aplicare de irigare sau un eveniment de ploaie inversează această acțiune. Pe măsură ce apa curge înapoi în sol (și în Irrometru), tensiunea este eliberată în sol și în instrument, rezultând o citire mai mică a manometrului (tensiune mai mică). De fapt, instrumentul indică cât de greu lucrează rădăcinile. Datorită principiului unic de funcționare al Irrometerul, nu sunt necesare calibrări în condiții normale de funcționare pentru diferite tipuri de sol. O citire de 50 cb (kPa) indică faptul că rădăcinile extrag aceeași cantitate de umiditate, indiferent dacă cultura este plantată în sol nisipos sau argilos.

APLICAȚII: Irrometrele model SR pot fi folosite pentru măsurarea manuală și urmărirea stării de umiditate a solului pentru majoritatea tipurilor de sol. Când este echipat cu ieșire electronică opțională și echipament de înregistrare a datelor, măsurarea și urmărirea se pot face automat. Standardul vacuummetrului de pe acest model poate fi înlocuit cu opțiuni electronice de măsurare sau cu dispozitive de comutare automată care pot activați echipamentele periferice la nivelurile dorite de

tensiune a apei din sol. Modelul SR folosește un vârf înlocuibil pentru o întreținere ușoară pe teren. Este proiectat pentru utilizare generală cu rânduri, pomi și culturi de câmp.

Irometrul LT (low tension - tensiune joasă) este proiectat pentru situații în care sunt rareori așteptate tensiuni de peste 30 cb (kPa). Este ideal pentru soluri foarte grosiere și medii-containere non-sol sau unde trebuie observată schimbarea rapidă a stării apei din sol. Instrumentul include un vârf cu filet înlocuibil (albastru) Quick-Flo, precum și un rezervor, o cameră de măsurare fără aer și un vacuometru IRROMETER sigilat din oțel inoxidabil cu scală dublă de centibari și kilopascali (în domeniul 0-40 cb/kPa).

Modelul LT a fost proiectat să funcționeze în soluri nisipoase grosiere și medii de cultură fără sol. Cu o gamă de 0-40 centibari (cb) sau kilopascali (kPa), acest instrument este destinat utilizării în situații în care sunt rareori așteptate tensiuni de peste 30 cb (kPa). Creșterile de măsurare de 1 cb (kPa) oferă un beneficiu acolo unde este nevoie de o rezoluție mai fină aproape de saturație. Acest model de instrument este, de asemenea, potrivit pentru condițiile în care condițiile de umiditate a solului care se schimbă rapid trebuie respectate. Vârful ceramic „Quick-Flo" este colorat în albastru pentru o identificare ușoară.

APLICAȚII: Irometrele Model LT pot fi utilizate pentru măsurarea manuală și urmărirea stării de umiditate a solului în soluri nisipoase grosiere și medii de cultură. Atunci când este echipat cu ieșire electronică opțională și echipament de înregistrare a datelor, măsurarea și urmărirea se face automat. Vacuumetrul de joasă tensiune de pe acest model poate fi înlocuit cu opțiuni de măsurare electronică sau cu dispozitive de comutare automată care pot activa echipamente periferice la nivelurile dorite de tensiune a apei din sol. *Modelul LT* este cea mai bună alegere pentru mediile de containere, cum ar fi turba, scoarța, nisipul, perlitul și vermiculitul. De asemenea, poate fi folosit în orice sol atunci când umiditatea este gestionată aproape de capacitatea pentru apă în câmp.

IRROMETRO „*MLT*" (Miniature Low Tension) este conceput pentru aplicații similare cu modelul „LT" de mai sus. Dispozitivul este ideal pentru utilizare cu soluri foarte grosiere și medii de containere fără sol. Dimensiunea sa compactă și vârful „Quick-Flo" înlocuibil îl fac cea mai bună alegere pentru aplicațiile cu seră.

Specificații tehnice: Indicatorul de umiditate a solului tip Irrometer Model MLT încorporează indicatori de umiditate a solului pentru a ajuta la luarea deciziilor de programare a irigațiilor. Indicatorul de umiditate a solului trebuie să funcționeze pe principiul tensiometrului și să indice tensiunea apei din sol, afișat în unități de centibari (cb) sau kilopascali (kPa). Trebuie să aibă un indicator din oțel inoxidabil și un tub construit din plastic durabil, impermeabil la atacul substanțelor chimice din sol, cu un vârf de detectare ceramic. Acesta trebuie să fie proiectat pentru o precizie maximă în aplicații cu tensiune joasă. Toate conexiunile ceramice la plastic trebuie să fie etanșe. Dispozitive opționale sunt disponibile pentru conectarea tensiometrelor IRROMETER la dispozitivele de colectare a datelor sau de control, inclusiv manometre de comutare, precum și traductoare de ieșire 4-20mA și 0,5V până la 4,5V.

Bibliografie

1. Finkel, H.J. ed. *CRC Handbook of Irrigation Technology*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 2018.
2. Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R., Hussain, S.A. (2012) A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management, Journal of Hydrology, 458-459, 110-117, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.021.

Reutilizarea apei pentru irigații

Economia circulară este un concept actual care tinde să fie implementat tot mai mult. Ceea ce a fost mult timp tratat ca deșeu, începe să fie văzut ca o sursă de materii prime. Acest lucru se întâmplă și în agricultură. Una dintre ideile noi este folosirea apelor uzate din orașe pentru irigații. Avantajele pot fi multiple. Mai mult, de la 26 iunie 2023, prevederile unui nou regulament european privind cerințele minime pentru reutilizarea apei pentru irigații agricole impune aplicarea acestui deziderat [1,2].

Azotul și fosforul ar fi furnizate gratuit

Ideea de a folosi apele uzate din localități pentru a iriga terenurile agricole din apropiere nu este nouă. Recent, un grup de cercetători a propus un proiect care consta în a nu purifica complet apele uzate, astfel încât să se conserve azotul și fosforul din ele. Aceste două substanțe sunt nutrienți esențiali pentru plante. Fermierii cheltuiesc în mod obișnuit sume mari de bani pentru a le procura și apoi a le distribui culturilor. Prin utilizarea apei care deja conține aceste substanțe ca deșeuri, s-ar putea realiza economii semnificative. Pe de altă parte, autoritățile localității respective ar realiza, la rândul lor, economii semnificative, necheltuind bani pentru energia și materialele necesare pentru extragerea reziduurilor de azot și fosfor din apă, fiind astfel o idee de care ar beneficia toată lumea. Dacă apele uzate sunt tratate corespunzător, conform reglementărilor europene, ele pot reprezenta o alternativă eficientă pentru acoperirea cererii de apă din sectorul agricol [3].

Aplicarea unei astfel de soluții în jurul orașelor ar putea furniza apa necesară pentru irigarea a zeci și chiar a sute de mii de hectare de teren agricol. În plus față de asigurarea necesarului de apă, s-ar realiza și fertilizarea, ceea ce ar însemna economii semnificative de energie și o reducere semnificativă a poluării. Mai mult, nămolurile colectate din stațiile de epurare a apelor uzate sunt deja utilizate în practica agricolă ca îngrășăminte și amendamente ale solului.

Potrivit statisticilor Comisiei Europene, cantitatea de ape uzate urbane tratate care este reciclată în prezent în fiecare an se ridică la aproximativ 1 miliard de metri cubi, adică 2,4% din totalul deșeurilor de apă uzată urbane tratate și mai puțin de 0,5% din volumul total de apă proaspătă extrase anual în UE. Cu toate acestea, potențialul UE este de șase ori mai mare și se estimează că depășește 6 miliarde de metri cubi. Atât statele membre din nord, cum ar fi Belgia, Germania și Regatul Unit, cât și cele din sud, cum ar fi Spania, Italia, Grecia, Malta și Cipru, au pus deja în aplicare numeroase programe privind reutilizarea apei pentru irigare, utilizarea în scopuri industriale și pentru reîncărcarea acviferelor. În timp ce Grecia, Italia și Spania reciclează doar între 5% și 12% din apa uzată, Cipru și Malta reutilizează deja peste 90%, respectiv 60% din apele uzate. Acest lucru arată clar potențialul enorm pentru o creștere suplimentară.

Reutilizarea apei – o soluție pentru criza iminentă a apei

Scăderea disponibilității apei este o problemă tot mai acută în Europa. Acesta a fost contextul în care, la sfârșitul lunii ianuarie 2020, deputații Parlamentului European (PE) s-au întâlnit cu reprezentanții Comisiei Europene. Deputații europeni au dorit, printre altele, să securizeze sursele de apă dulce ale UE, inclusiv prin promovarea reutilizării apei în agricultură.

În Europa, se prognozează că va crește necesitatea resurselor de apă ca rezultat al schimbărilor climatice. O predicție indică faptul că până în 2030, penuria de apă ar putea afecta jumătate din bazinele hidrografice din Europa. Membrii Comitetului pentru Mediu al PE au adoptat un acord informal cu Consiliul European cu privire la o propunere de reutilizare a apelor uzate la 21 ianuarie, în scopul de a asigura aprovizionarea Europei cu apă dulce pentru anii viitori. Pentru a deveni lege, noile reglementări vor trebui aprobate de Consiliu și de Parlament. Noile reglementări sunt concepute să

încurajeze utilizarea apelor uzate tratate pentru irigații, domeniu care folosește aproximativ jumătate din apa utilizată anual în UE. Folosirea apei reutilizate în agricultură s-ar putea intensifica pentru a contribui la reducerea deficitului.

Noile reglementări impun standarde minime de calitate a apei, monitorizare frecventă și crearea de strategii de gestionare a riscurilor de către facilitățile de tratare a apelor uzate pentru a garanta protecția culturilor. Autoritățile statelor membre sunt responsabile pentru autorizarea instalațiilor de tratare și pentru monitorizarea conformității cu reglementările existente.

Cantitatea de ape uzate urbane tratate reutilizate în prezent este de aproximativ 1 miliard de metri cubi pe an sau 2,4% din reziduurile de apă uzată urbană tratată și mai puțin de 0,5% din resursele anuale consumate de apă dulce ale UE. Cu toate acestea, se consideră că potențialul UE este mai mare de 6 miliarde de metri cubi, ceea ce reprezintă de șase ori mai mult decât cantitatea actuală.

Poluarea în irigarea cu ape uzate

Probleme de sănătate legate de irigarea cu ape uzate

Apele uzate deversate din sistemele de canalizare ale orașelor, din diverse sectoare industriale, precum și din fermele și crescătoriile de animale, pot fi folosite pentru irigații după ce au fost corect purificate, astfel încât să nu afecteze oamenii, animalele, culturile sau să nu polueze mediul înconjurător. În România, la nivelul anului 1996, existau peste 60.000 de hectare de sisteme de irigații care utilizau ape uzate, provenite din complexele de creștere a animalelor, însemnând aproximativ 30 de sisteme de irigații. În prezent, acestea nu mai sunt funcționale. Totuși, se estimează că în țara noastră o suprafață de aproximativ 1.330.000 hectare poate fi irigată cu ape uzate.

Pericolele generate de utilizarea acestor ape pentru irigații depind de mai mulți factori [2-4]:

- prezența patogenilor în aceste ape;

- prezența elementelor precum sodiul, metalele grele (Cu, Pb, Cr, Cd, Ni etc.), precum și a altor substanțe care pot cauza degradarea solului și deprecierea culturilor;

- modul de dezvoltare a diferitelor organisme aflate în apa de irigare;

- viabilitatea patogenilor și capacitatea lor de a supraviețui tratamentelor de epurare;

- posibilitatea ca patogenii să supraviețuiască în sol.

Tabelul 1. Caracterizarea unor ape uzate industriale în funcție de mărimea consumului biochimic de oxigen la 5 zile (CBO5) și conținutul de azot.

TIPUL DE APĂ UZATĂ INDUSTRIALĂ	CBO_5 (MGO_2/L)	N_{TOTAL} (MG/L)
Industria zahărului	1200-4600	20-70
Industria lactatelor	1000-5000	50-180
Industria alcoolului	12000-25000	360-1300
Industria berii	600	160
Industria cărnii	900	150
Industria celulozei și hârtiei	200-1000	5-20
Industria coloranților	100-800	5-50
Industria procesării uleiurilor	1800	300
Industria fertilizatorilor	<100	1500-5000

Există unele ape uzate care au un conținut ridicat de azot, fosfor, potasiu și alte substanțe nutritive (cum ar fi cele provenite din industria producției de îngrășăminte, alcoolului etc. prezentate în Tabelul

1). Acestea stimulează dezvoltarea plantelor și au capacitatea de a extrage aproximativ 75% din azotul din apa de irigare, până la 100% din fosfor, 60-100% din potasiu etc. Se estimează că 50-100 m^3 de ape uzate pot conține la fel de multe substanțe nutritive ca o tonă de gunoi de grajd, iar porumbul, grâul, soia, cartofii, lucerna și trifoiul absorb cantități semnificative de nutrienți din apa de irigare.

Studiile au arătat că utilizarea apelor uzate nu implică probleme majore de sănătate. La o adâncime de 0,9 până la 1,2 metri, toate bacteriile sunt filtrate. Solul reține în primul centimetru de adâncime aproximativ 90% din încărcătura microbiană totală, iar în primul milimetru 62 până la 64% din aceasta. Bacteriile intestinale care ajung în sol împreună cu apele uzate sunt în mare parte adsorbite de coloizii solului și distruse de bacteriile saprofite. Apele uzate care au fost filtrate natural de către sol ajung la nivelul pânzei freatice fără patogeni microbiologici. În cazul irigației cu ape uzate, cele mai importante microorganisme sunt enumerate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Cei mai importanți patogeni din apa uzată..

Tipul	Microorganismul	**Boala**
Helminți	***Ancylostoma duodenale***	anchilostomiază
	Ascaris lumbricoides	ascaridioză
	Schistosoma hasmatobium	parazitoză
	Schistosoma japonium	parazitoză
	Schistosoma manaoni	parazitoză
	Taenia raginata	teniază
Protozoare	**Entamoeba histolytica**	Dizenterie amibiană
Bacterii	***Leptospira icterohemorrhagiae***	leptospiroză
	Mycobacterium tuberculosis	tuberculoză
	Sallomenella typhi	febră tifoidă
	Sallomenella paratyphi	febră paratifoidă
	Shigella Shigae	dizenterie
	Shigella Sonnei	dizenterie
	Shigella Flexneri	dizenterie
Virusuri	***Vibrio cholerae***	holeră
	Hepatic virus	hepatită infecțioasă
	Plioviruses 1, 2, 3	poliomielită paralitică
	Coxsackievirus A	meningită aseptică
	Coxsackievirus B	meningită aseptică
	Echovirus	enterită

Solul "obosește" dacă irigația cu ape uzate este folosită pe termen lung, motiv pentru care se recomandă ca apa să fie tratată înainte de a fi utilizată. Datorită conținutului chimic foarte divers, apele uzate ar trebui să fie procesate pentru a evita distrugerea culturilor, salinizarea solului etc. Se recomandată îmbunătățirea calității apelor uzate prin diluare cu apă curată, reducerea conținutului de sodiu, reducerea sării din dietele animalelor, adăugarea de ghips pentru a înlocui carbonatul de sodiu, și așa mai departe. Cercetările existente indică faptul că reutilizarea apelor uzate pentru irigații duce la o creștere a randamentului, în principal datorită creșterii umidității solului și fertilizării sporite.

Pentru solurile cu o bună permeabilitate, sunt preferate metodele de irigație subterană, datorită utilizării reduse și foarte eficiente a apei, precum și datorită protecției zonelor înconjurătoare, mai ales atunci când sunt folosite ape uzate. Apele uzate tratate pot fi de asemenea utilizate pentru irigarea și fertilizarea culturilor cultivate în sere, prin irigație subterană. Ele sunt de asemenea recomandate pentru plantele tehnice (cum ar fi sfecla de zahăr), pajiști, culturi de legume care sunt consumate după preparare termică (cartofi), plante ornamentale și flori, cu condiția ca irigarea să fie oprită cu o lună înainte de recoltare.

Efecte negative ale irigării cu ape uzate

Irigarea cu ape uzate necesită o gestionare serioasă și controlul proprietăților solului, astfel încât să se evite deteriorarea acestuia. Este recomandată în special pentru solurile cu o bună permeabilitate pentru apă și aer, favorizând mineralizarea materiei organice și distrugerea patogenilor. Autoepurarea solului depinde în mare măsură de încărcătura microbiologică a solului (bacterii, actinomicete, fungi, protozoare, larve) și constă în:

- Mineralizarea materiei organice în condiții anaerobe - zaharurile sunt descompuse în metan, apă și dioxid de carbon, proteinele sunt transformate în aminoacizi, iar grăsimile sunt reduse la glicerol și acizi grași; ca rezultat al fermentației și descompunerii, sunt produși unii compuși cu miros puternic, cum ar fi amoniacul, hidrogenul sulfurat, metanul.

- Nitrificarea - bacteriile autotrofe și arheele produc oxidarea unor compuși anorganici, ducând la formarea de nitriți. Acest proces este aerob.

Aplicarea irigației cu ape uzate într-un mod necontrolat poate duce la unele dezavantaje, cum ar fi [2-4]:

- Oboseala solului - poate apărea după ani de irigare cu ape uzate și este evidențiată de concentrațiile crescute de microelemente (de exemplu, Zn, Cu), concentrații crescute de compuși nocivi (de exemplu, clorură, sulfat, acizi grași), levigarea potasiului și fierului la adâncimi mari, degradarea structurii solului, aerarea insuficientă. Ca urmare, plantele vor prezenta cloroza, iar procesul de dezvoltare al unor plante va fi afectat. S-a dovedit că principala cauză a acestor procese este legată de intensificarea irigației datorată creșterii populației și a consumului de apă cu 60.000 - 70.000 de metri cubi pe hectar în comparație cu valorile optime de aproximativ 3000 de metri cubi pe hectar, precum și utilizarea apelor uzate ne-procesate și gestionarea necorespunzătoare a solului.
- Colmatarea solului - se datorează creșterii cantității de materie organică, însoțită de obicei de creșterea conținutului de azot, care oprește parțial dezvoltarea plantelor. Când apele uzate au conținut ridicat de azot, s-au obținut rezultate bune prin menținerea apei în bazine de oxidare ca tratament eficient prin care materia organică este descompusă de microorganisme în prezența oxigenului. Metoda este folosită în multe țări precum Australia, America de Nord și Israel.
- Salinizarea secundară a solului - se produce în special pe solurile argiloase, cu permeabilitate redusă, datorită creșterii concentrațiilor de săruri solubile în sol peste valoarea critică. Prezența sodiului și a altor cationi în cantități mari duce la distrugerea agregatelor structurale ale solului și la reducerea permeabilității apei.
- Acidifierea solului - intensifică solubilitatea sărurilor de calciu și magneziu, conducând la deficiențe în nutriția plantelor; acest fenomen are loc atunci când apele uzate au un pH mai mic de 6,5.
- Contaminarea solului - poate apărea din cauza irigației care folosește ape uzate industriale contaminate cu substanțe chimice nocive precum metalele grele (de exemplu, As, Cu, Ba, Ni, Cr, Zn, Co), fenoli, diferite săruri și detergenți. În concentrații foarte mici, acestea pot stimula creșterea plantelor, dar peste un anumit prag, pot inhiba dezvoltarea. Mai mult, acestea ar putea fi absorbite de plante intrând în circuitul alimentar și reprezentând o potențială amenințare pentru consumul animal și uman. Nu este recomandat să se utilizeze pentru irigare apă care conține arsenic peste 1

mg/L, cupru peste 7 mg/L, nichel și cobalt peste 2 mg/L, sodiu peste 80 mg/L, SO_4 peste 250 mg/L. Prezența substanțelor tensioactive (detergenți) afectează nitrificarea și influențează respirația și fotosinteza datorită formării unei pelicule pe suprafața frunzelor.

- Infestarea solului cu patogeni - poate apărea atunci când se utilizează abuziv ape uzate fără niciun tratament prealabil.

Alte dezavantaje ale utilizării apelor uzate în irigații sunt:

- îngrășămintele pot duce în anumite condiții la dezvoltarea excesivă a vegetației, prejudiciind randamentul culturilor (fructe, cereale etc.), și a activității microbiene a solului;

- atunci când nămolul rezultat din deșeuri este folosit ca îngrășământ organic, poate exista o reducere a conținutului de apă din sol;

- irigarea cu ape uzate reprezintă o problemă în timpul iernii.

Avantajele utilizării apelor uzate în agricultură

Utilizarea rațională a apelor uzate în agricultură are multe avantaje economice, printre care cele mai importante sunt:

- Eliminarea problemelor legate de evacuarea apelor uzate.

- Reducerea cheltuielilor pentru asigurarea apei pentru irigații în zonele în care alte surse de apă nu sunt accesibile.

- Contribuie parțial la resursele subterane de apă, ridicând nivelul acestora.

- Este o soluție tehnică și economică pentru curățarea biologică a apelor uzate.

- Permite extinderea suprafețelor irigate, chiar și în zonele cu mai puține surse de apă.

- Contribuie la creșterea randamentului culturilor.

- Este o modalitate bună de fertilizare a solului.

- Facilitează accesul plantelor la elementele utile găsite în această apă.

- Oferă posibilitatea reducerii utilizării îngrășămintelor scumpe; apele uzate provenite de la fermele de animale sunt un îngrășământ foarte bun de azot-potasiu-fosfor.

- Elementele sunt ușor asimilate de către plante.

- Pe solurile nestructurate, irigarea cu ape uzate provenite din industria celulozei, bogate în sulfiți, îmbunătățește structura solului, crescând astfel permeabilitatea apei.

Protecția solului în timpul irigației cu ape uzate

Măsurile pentru protecția solului irigat cu ape uzate impun:

- grijă în transportul și distribuția apei;

- cantitățile de apă utilizate trebuie să fie calculate rațional;

- tratarea apelor uzate trebuie să fie efectuată înainte de utilizarea lor în irigații;

- conținutul de substanțe chimice toxice și patogeni trebuie să fie sub limitele recomandate;

- concentrațiile de săruri trebuie să se încadreze în limitele normale, astfel încât să nu aibă un efect negativ asupra proprietăților fizice și chimice ale solului, creșterii plantelor și randamentului culturii.

- pH-ul trebuie să fie cuprins între 6,5 și 8,5;

- irigarea cu ape uzate trebuie să țină cont de cantitatea totală de substanțe din apă, proprietățile fizice și chimice ale solului, regimul de irigare, nivelul freatic, programul udărilor și momentul recoltării;

- efectuarea unui drenaj regulat al câmpurilor irigate;

- câmpurile folosite pentru irigarea cu ape uzate ar trebui să aibă pante mici, cu o bună permeabilitate a solului, fără soluri cu roci fracturate și depozite sau care se află în apropierea unei surse de apă;

- pentru a evita salinizarea secundară, irigarea ar trebui să se facă o dată la doi ani, apele uzate să fie diluate cu apă curată într-un raport de 1/2 până la 1/5, și trebuie să se folosească cantități mici de apă.

Bibliografie

1. Singh, A. (2021) A review of wastewater irrigation: Environmental implications, Resources, Conservation and Recycling, 168, 105454, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105454
2. Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P.G., Drechsel, P., Bahri, A., Minhas, P.S. (2010) The challenges of wastewater irrigation in developing countries, Agricultural Water Management, 97, 561-568, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.004.
3. Hashem, M.S., Qi, X. (2021) Treated Wastewater Irrigation—A Review. Water, 13, 1527, https://doi.org/10.3390/w13111527.
4. Al Omron, A.M., El-Maghraby, S.E., Nadeem, M.E.A., El-Eter, A.M., Al-Mohani, H. (2012) Long term effect of irrigation with the treated sewage effluent on some soil properties of Al-Hassa Governorate, Saudi Arabia. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 11, 15–18, https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.04.004.
5. Li, B., Cao, Y., Guan, X., Li, Y., Hao, Z., Hu, W., Chen, L. (2019) Microbial assessments of soil with a 40-year history of reclaimed wastewater irrigation. Science of the Total Environment, 651, 696–705, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.193.

Însămânțarea norilor

Schimbările climatice au afectat modul, frecvența și cantitatea precipitațiilor, făcând vulnerabile multe țări din cauza scăderii resurselor de apă. Seceta a devenit un eveniment regulat în multe părți ale globului, astfel că guvernele din întreaga lume își concentrează eforturile pentru a elabora și implementa diferite planuri de gestionare a secetei, deoarece aceasta are nu doar un impact asupra sectorului agricol, ci afectează puternic comunitățile, sănătatea, educația și nutriția. Seceta influențează negativ umiditatea solului, scurgerea la suprafață și toate resursele de apă cu consecințe negative sociale și economice.

După cum am discutat în capitolele anterioare, rezervele de apă sunt din ce în ce mai reduse, fiind căutate tehnologii și metode noi pentru a furniza sectorului agricol necesarul de apă. Un mod de a realiza acest lucru este stimularea producției de precipitații prin însămânțarea norilor [1-7]. Anumite zone din lume, precum Emiratele Arabe Unite, utilizează deja frecvent această metodă. În alte țări, precum Australia, Rusia, China, India, Israel, Statele Unite, dar și România, implementarea unor astfel de sisteme a început mai recent [3]. Pe de o parte, însămânțarea norilor stimulează producția de precipitații, iar pe de altă parte, poate ajuta la evitarea formării grindinei, care este o altă problemă majoră pentru agricultură mai ales datorită intensificării acestor fenomene ca urmare a schimbărilor climatice, cu impact negativ, mai ales pentru culturile care au nevoie de câțiva ani pentru a deveni productive, cum ar fi vița de vie și livezile.

Tehnologia modernă de modificare a vremii a început în anii 1940, când Schaefer și Vonnegut au descoperit că picăturile de apă supra-răcite pot fi transformate în gheață după însămânțare. În norii calzi, ploaia a fost inițiată folosind particule mari, higroscopice [4]. Doar o parte din umiditatea disponibilă în nori este transformată în precipitații, ceea ce a sugerat posibilitatea explorării creșterii aprovizionării cu apă prin însămânțarea norilor. Cu toate cercetările efectuate în ultimul secol, complexitatea proceselor atmosferice influențează direct repetabilitatea experimentelor de însămânțare a norilor. Având în vedere costurile ridicate implicate datorită echipamentului necesar, raportul cost-beneficiu duce la existența unui număr redus de programele de cercetare existente privind însămânțarea norilor.

Explicarea procesului

Precipitațiile apar după ce apa evaporată în atmosferă se colectează prin condensare în jurul particulelor din atmosferă, ducând la saturația aerului când acesta nu poate reține umiditatea și picăturile formate cad.

Însămânțarea norilor reprezintă dispersia artificială a unor substanțe într-un nor pentru a schimba dezvoltarea acestuia sau pentru a crește cantitatea de precipitații. Acest ultim scop se poate realiza prin crește numărului de nuclee de condensare în atmosferă, furnizând particule de aerosoli în nori, în plus față de fondul natural care poate fi rar și de dimensiuni mai mici. Conținutul de apă al norului condensează în picături lichide, crescând adâncimea acestuia, durata de viață și intensitatea ploii.

Procesul este foarte complex. Substanțele introduse în nori servesc ca nuclee de condensare, ajutând la formarea precipitațiilor. Bazându-se pe abilitățile unor materiale (iodură de argint și gheață uscată) de a se comporta ca nuclee pentru gheață, au fost propuse mai multe tipuri de moduri de însămânțare a norilor [2]:

- În **modul static**, nucleele de condensare (de obicei iodură de argint sau gheață uscată) sunt adăugate pentru a crește cantitatea de precipitații. Aceste cristale acționează ca nuclee de condensare pentru umiditatea deja prezentă în nori, crescând eficiența dispersării apei în nor. Experimentele au arătat că fereastra de oportunitate pentru această metodă de însămânțare este

limitată cel puțin de disponibilitatea apei supra-răcite în nor. Rata de succes a însămânțării norilor în mod static este variabilă, deoarece condițiile de mediu sunt greu de replicat.

- În **modul dinamic**, curentele de aer verticale sunt îmbunătățite prin adăugarea unei cantități de nuclee de condensare în nor. Acest concept se bazează pe însămânțarea norilor supra-răciți cu cantități enorme de nuclee (aproximativ de 100 de ori mai multe nuclee de condensare) pentru a produce formarea rapidă a particulelor de gheață, căldura latentă eliberată crescând flotabilitatea și îmbunătățind curenții de convecție ascendenți din nor, ceea ce duce la creșterea acestuia și producerea unei cantități mai mari de precipitații. Acest lucru poate produce și vârtejuri puternice și interacțiuni cu mediul conducând la un fenomen de convecție mai activ. Însămânțarea dinamică este un proces mai complex decât cel static, depinzând de mai multe evenimente, fiind identificate până în prezent aproximativ unsprezece etape ale procesului [6]. Orice intervenție care alterează secvența acestor etape poate afecta serios rezultatul final, făcând metoda mai puțin fiabilă decât însămânțarea statică a norilor.
- În **însămânțarea higroscopică**, nucleele sunt cristale de sare pe care apa condensează până când acestea devin suficient de mari pentru a produce precipitații. Acest tip de însămânțare este asociat cu însămânțarea norilor calzi. Stimularea precipitațiilor se datorează procesului îmbunătățit de coalescență. În forma inițială, metoda avea unele dezavantaje, cum ar fi cantitatea mare de sare necesară, care trebuia dispersată pe suprafețe la fel de mari în nor. Mai mult, rata de creștere a particulelor de ploaie trebuie să se potrivească profilului de convecție ascendentă. Mai târziu, abordarea s-a schimbat către însămânțarea norilor calzi de la baza acestora folosind dispozitive pirotehnice care produc particule de sare de dimensiuni sub-micrometrice, rezultând într-un spectru mai de dimensiuni ale nucleelor. Această abordare folosește cantități mai mici de sare, în timp ce zona țintă poate fi ușor determinată la baza norului.

Metodele de însămânțare a norilor pot fi (Figura 1):

- **Aeriană** - sunt folosite avioane care dispersează nuclee în interiorul norilor folosind echipamente pirotehnice speciale (cartușe și blocuri)

- Sistemele **terestre** sunt folosite în același scop ca și avioanele. Astfel de sisteme pot fi rachete, semnale pirotehnice, tunuri de grindină, însămânțare cu artilerie, etc. Are loc arderea unui reactiv care ajunge apoi în nori datorită curenților de ascensiune.

Pe lângă mijloacele tehnologice necesare pentru însămânțarea directă, sunt necesare și altele pentru monitorizarea norilor și a precipitațiilor (sisteme radar, rețele de transmisie a imaginilor prin satelit, stații meteorologice, etc.).

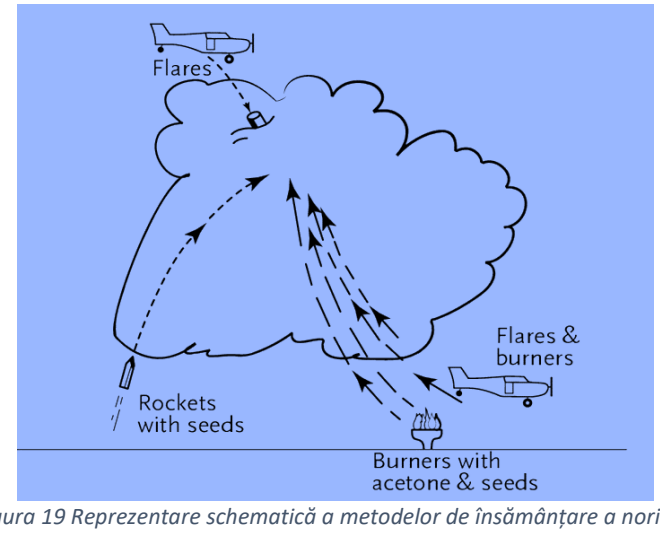


Figura 19 Reprezentare schematică a metodelor de însămânțare a norilor.

Fondul natural de nuclee de condensare este reprezentat de particulele de praf, sare marină, funingine și alte particule provenite din procese naturale sau de natură antropogenă. Moleculele de apă dintr-un nor condensează pe aceste nuclee, iar dimensiunea picăturilor de nor crește pe măsură ce acumulează mai multă apă prin condensare sau ciocniri între picături. Semințele de nor artificiale accelerează procesul și oferă apei mai mult material pe care să se condenseze, particulele crescând mai rapid și fiind facilitată apariția precipitațiilor.

Însămânțarea poate fi făcută prin două metode, așa cum este prezentat și în Figura 1:

- în zona superioară a norului, prin injectarea directă a nucleelor folosind dispozitive care conțin o substanță higroscopică (nanoparticule de $CaCl_2$) sau cu potențial de formare a cristalelor de gheață (AgI), montate pe un avion

- în partea inferioară a norului, prin răspândirea nucleelor de însămânțare folosind stații fixe care lansează rachete sau de la torțe montate pe aripile unui avion.

Substanțele folosite pentru însămânțarea norilor au o capacitate mare de a forma gheață în prezența apei supra-răcite și constau în aerosoli formatori de gheață și reactivi pentru răcire. Unele dintre acestea sunt higroscopice, folosite în principal pentru norii calzi. Substanțele sub formă de pudră sunt folosite în principal pentru disiparea norilor convectivi, prin introducerea unor vârtejuri descendente puternice. Substanța cea mai comună care formează gheață este iodura de argint (AgI); aceasta are o structură cristalină similară cu cea a cristalelor de gheață, fiind foarte eficientă ca nucleu de îngheț la temperaturi mai mici de -4°C. Combustia a 1 g de amestecuri care conțin 8% AgI duce la producția de $5 \cdot 10^{12}$ nuclee la o temperatură de -10°C [7].

Alte substanțe folosite ca nuclee de însămânțare sunt următoarele:

- pentru nori reci: AgI, propan lichid și acetonă lichidă, gheață uscată (CO_2)

- pentru nori calzi: uree, ciment, sare fină

- pentru nori complecși: AgI, NaCl, KCl, $CaCl_2$

Substanțele de tip pudră au eficiențe diferite în funcție de compoziția lor, hidrofilicitate (care influențează capacitatea de a interacționa cu picăturile de nor), dispersie (valoarea optimă este de 3000 cm^2/g), densitate (determină distribuția și comportamentul în interiorul norului datorită curenților de aer) [7].

Efectele însămânțării pot dura de la câteva minute la perioade mai lungi, în funcție de metoda de livrare a însămânțării. Injectarea directă este imediată, dar necesită utilizarea unui avion care zboară la altitudini mari, ceea ce ar putea fi costisitor. În cazul însămânțării la baza norului prin intermediul curenților de ascensiune, substanța de însămânțare trebuie transportată de către curentul ascensional în nor pentru a deveni eficientă, proces care necesită mai mult timp.

Norii convectivi sunt însămânțați de sus în jos folosind aeronave; atunci când vârful lor este deasupra nivelului de serviciu al avioanelor utilizate, substanța de însămânțare este dispersat în nor la înălțimea maximă de zbor a aeronavei. Când un sistem convectiv multiplu este însămânțat, se utilizează până la zeci de cartușe, însămânțarea pentru fiecare vârf fiind similară cu cea pentru un singur nor. Când norii stratiformi sunt însămânțați pentru a produce ploaie, însămânțarea are loc pe o linie perpendiculară față de direcția mișcării, zona însămânțată fiind de câțiva km distanță, substanța utilizată fiind transportată de fenomenele turbulente din atmosferă. Astfel, precipitațiile vor fi, de asemenea, limitate în zona țintă.

Eficiența însămânțării norilor a crescut în mod constant. Organizația Meteorologică Mondială (OMM) a raportat că însămânțarea folosind avionul a devenit mai eficientă decât majoritatea metodelor

terestre. Cu toate acestea, evaluarea eficienței este complicată din cauza proprietăților complexe ale fenomenelor atmosferice, în special evoluția norilor. Au fost efectuate multiple experimente și a fost aplicată o abordare statistică, în modele de control-țintă. De obicei precipitațiile sunt înregistrate în zonele de control în zone în care nu se face însămânțarea norilor, iar apoi este folosită o ecuație de regresie pentru a modela precipitațiile naturale. După acest proces se poate evalua impactul potențial al însămânțării prin compararea modelului de regresie cu fenomenele observate. Utilizând această abordare, s-a determinat că precipitațiile anuale au crescut cu până la 10% ca rezultat al însămânțării norilor.

Pentru a studia în detaliu fenomenele atmosferice implicate, detecția radar este esențială. Aceasta poate oferi o monitorizare cu rezoluție înaltă în timp real a norilor și o estimare a precipitațiilor; prin urmare, este folosită pentru a ajuta în procesul de însămânțare și, de asemenea, pentru a-l studia.

Studiu de caz – programul de însămânțare a norilor din Emiratele Arabe Unite

În Emiratele Arabe Unite, însămânțarea norilor este o strategie guvernamentală pentru a face față condițiilor climatice din această țară. Programul este implementat începând din 2002 de către Centrul Național de Meteorologie al EAU, și urmează o abordare convențională: săruri naturale, în principal clorură de potasiu (KCl), sunt lansate folosind dispozitive pirotehnice la baza norilor convectivi în apropierea nucleului de ascensiune [1]. Aplicându-se o metodă de regresie control-țintă s-a estimat o creștere anuală medie de 23% a cantității de precipitații, cu creșteri ale volumului ecoului furtunii de până la 159%, creșterea zonei de acoperire cu aproximativ 72%, și durata de viață de aproximativ 65% [1]. Cazul EAU este unul special, cu aproximativ 300 de misiuni de însămânțare anuale și un obiectiv de optimizare a eficienței procesului în beneficiul securității apei în țară. Programul este necesar deoarece precipitațiile medii anuale sunt sub 100 mm, într-un climat cu temperaturi în creștere și modele meteorologice schimbătoare.

Impactul și perspectivele tehnologiilor de însămânțare a norilor

Nu a fost identificat un impact negativ asupra mediului din punct de vedere al poluării, chiar și în cazul aerosolilor de iodură de argint sau a altor particule precum cimentul și argila [2,6,7]. Concentrația de argint în apa de ploaie este mult sub valoarea ambientală acceptabilă de 50 µg/L. De asemenea, nu există un impact asupra climei; însămânțarea modifică norii individual sau grupurile de nori cu efecte doar la nivel local. Dezavantajele tehnologiei sunt faptul că nu funcționează întotdeauna și faptul că implică costuri ridicate.

Tehnologia de însămânțare a norilor are un mare potențial pentru îmbunătățirea precipitațiilor, fiind strâns legată de managementul resurselor de apă. Este foarte important să se ia în considerare potențialele beneficii în sectorul agricol legate de stimularea precipitațiilor prin însămânțarea norilor. Această tehnică poate duce la îmbunătățirea semnificativă a condițiilor de viață în zonele aride, reglând precipitațiile prin prevenirea grindinei. Cercetările efectuate până acum au arătat că însămânțarea norilor poate fi folosită ca un instrument de gestionare a resurselor de apă pe termen lung, alături de stocarea apei și irigarea culturilor.

Bibliografie

1. Farahat, A., Abuelgasim, A. (2022) Effect of cloud seeding on aerosol properties and particulate matter variability in the United Arab Emirates. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **19** (2): 951–968. doi:10.1007/s13762-020-03057-5
2. Bruintjes, R.T. (1999) A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(5), 1999, 805-820.
3. Ćurić, M., Lompar, M., Romanic, D., Zou, L., Liang, H. (2019) Three-Dimensional Modelling of Precipitation Enhancement by Cloud Seeding in Three Different Climate Zones". *Atmosphere*. 10 (6): 294. doi:10.3390/atmos10060294
4. Schaefer, V.J. (1947) Snow and Clouds in the Sky, General Electric – Project Cirrus.
5. Al Mazroui, A., Farrah, S. (2017) The UAE Seeks Leading Position in Global Rain Enhancement Research. *The Journal of Weather Modification* 49 (1): 54-55.
6. Malik, S., Bano, H., Rather, R.A., Ahmad, S. (2018) Cloud Seeding; Its Prospects and Concerns in the Modern World – A Review, *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 6(5): 791-796, http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6824
7. Korneev, V.P., Potapov, E.I., Shchukin, G.G. (2017) Environmental aspects of cloud seeding, *Russian Meteorology and Hydrology*, 42: 477-483, DOI: 10.3103/S106837391707007X

4. Recomandări privind managementul integrat al dăunătorilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice

Bostjan MATKO, Stanka KLEMENČIČ

Cuprins

- Managementul integrat al dăunătorilor
- Măsuri de combatere a dăunătorilor (prevenție, combatere ne-chimică)
- Optimizarea utilizării produselor de protecție a plantelor în agricultură
- Îmbunătățirea cunoașterii și disponibilității de a adapta și utiliza tehnicile de protecție integrată a plantelor
- Promovarea de strategii avansate pentru protecția integrată a plantelor
- Reducerea utilizării pesticidelor în producția agricolă
- Scăderea impactului negativ asupra mediului și oamenilor
- Creșterea producției agricole și a autosuficienței alimentare

Introducere

Protecția integrată a plantelor a fost dezvoltată cu scopul de a combate organismele dăunătoare, proces care nu ar trebui să se bazeze și să depindă exclusiv de utilizarea substanțelor chimice. Protecția integrată a plantelor înseamnă gestionarea sistematică și planificată a organismelor dăunătoare, combinând diverse abordări pentru sănătatea plantelor, pe baza unei combinații de metode biotice, de prelucrare, fizice, biotehnice și chimice de protecție a plantelor. Protecția integrată a plantelor înseamnă, de asemenea, reducerea riscurilor pentru economia producției agricole, sănătatea umană, protecția mediului și reducerea efectelor negative asupra organismelor non-țintă.

Intensificarea utilizării pesticidelor în producția agricolă reprezintă o amenințare la adresa sănătății umane și a mediului. Protecția Integrată a Plantelor (PIP) este propusă ca alternativă la practicile convenționale de gestionare a dăunătorilor. Provocările în implementarea programelor de PIP și adoptarea practicilor PIP sunt strâns legate de factorii politici, sociali și psihologici, metodele de extindere, precum și de formare și cunoștințe. Bunăvoința guvernamentală în ceea ce privește sprijinul politic pentru gestionarea alternativă a dăunătorilor este crucială. Până când nu se vor stabili politici clare, va fi imposibil să se promoveze utilizarea PIP. Noile tehnologii și practici se confruntă cu rezistență din partea părților interesate, în special a fermierilor, iar implementarea practicilor PIP necesită o considerație atentă a barierelor psihologice și sociale. Implementarea PIP se confruntă și cu limitări în ceea ce privește formarea și cunoștințele, care sunt deținute în cea mai mare parte de fermieri și consilieri. Provocările în implementarea PIP influențează organizațiile să-și mărească rolul în educarea fermierilor cu privire la practicile noi. Cu toate acestea, organizațiile de consultanță nu pot lucra singure pentru a aborda provocările cu care se confruntă PIP și au nevoie de sprijinul altor părți interesate.



Managementul integrat al dăunătorilor

Protecția integrată a plantelor a fost dezvoltată cu scopul de a combate organismele dăunătoare, proces care nu ar trebui să se bazeze și să depindă exclusiv de utilizarea substanțelor chimice. Protecția integrată a plantelor înseamnă gestionarea sistematică și planificată a organismelor dăunătoare, combinând diverse abordări pentru sănătatea plantelor, pe baza unei combinații de metode biotice, de prelucrare, fizice, biotehnice și chimice de protecție a plantelor. Protecția integrată a plantelor înseamnă, de asemenea, reducerea riscurilor pentru economia producției agricole, sănătatea umană, protecția mediului și reducerea efectelor negative asupra organismelor non-țintă.

În regulamentul privind plasarea pe piață a produselor de protecție a plantelor, conceptul de protecție integrată a plantelor este descris pe baza definiției FAO: Programul Integrat de Protecție a Plantelor ia în considerare toate modalitățile disponibile de protecție a sănătății plantelor împotriva organismelor dăunătoare și este, de asemenea, deschis integrării ulterioare a măsurilor care previn dezvoltarea organismelor dăunătoare, utilizarea produselor de protecție a plantelor și a altor măsuri de protecție a plantelor la nivelul necesar pentru a menține populația și pentru a reduce riscul pentru sănătatea umană și mediul înconjurător. Protecția plantelor integrată urmărește, de asemenea, promovarea mecanismelor naturale de protecție a plantelor împotriva organismelor dăunătoare.

Legea privind produsele de protecție a plantelor (UL RS 83/12) stabilește: Protecția integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare înseamnă luarea în considerare atentă a tuturor metodelor disponibile de protecție a plantelor, ceea ce duce la integrarea măsurilor adecvate care previn dezvoltarea populațiilor de organisme dăunătoare. În gestionarea integrată a dăunătorilor, utilizarea produselor de protecție a plantelor ar trebui să fie la un nivel economic și ecologic adecvat, cu scopul de a reduce riscul pentru sănătatea umană și mediul înconjurător. Gestionarea integrată a dăunătorilor subliniază creșterea plantelor sănătoase cu impact minim asupra ecosistemelor agricole și promovează mecanismele naturale de protecție împotriva organismelor dăunătoare.

Producția integrată de plante pentru culturi, fructe, struguri și legume este efectuată în Slovenia sub supravegherea constantă și profesională a organizațiilor pentru control și certificare a producției integrate. Dacă cultivarea este efectuată în conformitate cu toate cerințele, organizația pentru control și certificare a producătorului emite un certificat, care garantează că culturile etichetate corespund unui standard ridicat de cultivare.

	Sadje		Zelenjava		Grozdje		Poljščine		Skupaj	
	št. pridel.	ha	št. pridel.	ha	št. pridel.	ha	št. pridel.	ha	št. pridel.	ha
2008	1.080	3.273,97	356	1.075,95	2.594	8.910,60	1.882	44.357,92	5.912	57.618,44
2009	994	3.475,54	331	1.002,57	2.428	7.630,69	1.823	45.367,84	5.576	57.476,64
2010	963	3.485,13	343	1.068,77	2.351	8.552,63	1.776	45.757,61	5.433	58.864,14
2011	949	3.451,43	341	977,06	2.360	8.581,42	1.762	46.298,03	5.412	59.307,94
2012	819	3.124,20	336	994,49	2.131	8.333,68	1.674	45.965,30	4.960	58.417,67
2013	733	3.057,65	321	997,05	1.975	7.887,95	1.635	46.108,93	4.664	58.051,58
2014	714	2.973,32	307	959,89	1.928	7.856,42	1.622	46.223,55	4.571	58.013,18
2015	350	1.509,26	166	516,87	102	794,09	52	2.006,80	670	4.827,02
2016	307	1.210,05	163	555,03	71	822,85	34	543,43	575	3.131,36
2017	231	1.029,90	148	605,72	59	818,45	28	600,28	466	3.054,35
2018	227	875,24	134	455,65	44	808,29	25	418,02	430	2.557,20
2019	182	687,05	143	513,06	51	796,16	26	322,90	402	2.319,17
2020	161	623,10	94	258,7	50	630,60	25	209,90	330	1.722,30
2021	137	197,80	120	384,4	45	622,40	32	321,20	334	1.525,80

Tabelul 1: Numărul crescătorilor și suprafețele de tern (ha) incluse în diferite scheme de cultivare integrate din 2008.

Principiile de bază și recomandări legate de managementul integrat al dăunătorilor

Protecția integrată a plantelor este un proces bazat pe cunoștințe și experiență și este deschis la noi idei, cunoștințe științifice și progres tehnologic. Este bazat pe detectarea, identificarea și definirea

precisă a dimensiunii populației de organisme dăunătoare și pe evaluarea pagubelor economice pe care aceste organisme le pot cauza.

Protecția integrată a plantelor ar trebui să se concentreze pe obiectivele producției agricole durabile, în care sunt preferate metodele non-chimice de protecție a plantelor, prietenoase cu mediul și utilizarea țintită și eficientă a produselor de protecție a plantelor.

Cel mai important principiu al protecției integrate a plantelor este că decizia cu privire la utilizarea produselor de protecție a plantelor se iau doar atunci când celelalte măsuri de control al dăunătorilor nu sunt suficient de eficiente. În acest sens, ajutoarele serviciilor de "Observare și Prognoză", care se bazează pe monitorizarea continuă a organismelor dăunătoare, condițiilor meteorologice și dezvoltării plantelor, sunt utile pentru cultivatori.

Protecția integrată a plantelor necesită o bună cunoaștere și înțelegere a sistemului agricol și combinarea unei cunoștințe inteligente a tehnologiilor vechi, existente și celor noi, deoarece echilibrul natural în culturi nu poate fi realizat doar prin simpla reducere a utilizării produselor de protecție a plantelor.

Protecția integrată a plantelor este un proces în continuă îmbunătățire ce încorporează multe soluții inovatoare adaptate la locul și momentul producției agricole, contribuind semnificativ la reducerea dependenței producției agricole de utilizarea produselor de protecție a plantelor.

În efortul de a reduce impactul negativ al utilizării PPP asupra oamenilor și mediului, majoritatea țărilor europene au dezvoltat linii directoare pentru producția integrată de culturi. Acest lucru este reglementat de Regulamentul privind producția integrată de culturi, legume, fructe, struguri și vin (UL RS 110/10). În fiecare an, Ministerul Agriculturii, Pădurilor și Alimentației publică instrucțiuni tehnologice detaliate pentru producția integrată. Capitolele care tratează protecția plantelor conțin în principal instrucțiuni tehnologice succinte și date despre produsele de protecție a plantelor autorizate pentru controlul bolilor, dăunătorilor și buruienilor.

Principii de bază ale managementului dăunătorilor

Instrucțiunile pentru protecția integrată a plantelor pregătite în majoritatea țărilor sunt similare cu cele ale unor organizații internaționale care se ocupă de protecția plantelor (IOBC - Organizația Internațională pentru Controlul Biologic), referindu-se în principal la cele opt așa-numite principii de bază, care sunt de asemenea definite în legislația europeană (Directiva 2009/128/CE).

Măsuri preventive

Prin selecția corespunzătoare a terenului (locul de amplasare a terenului, structura solului), a inelului și a metodei de producție (tratarea solului, momentul semănării, densitatea de semănat/plantare, tăierea, forme educative, tehnici de combatere a buruienilor, semănatul de culturi mixte sau intermediare acolo unde este cazul, utilizarea de soiuri rezistente/tolerante, plantarea sau semănarea materialului de plantare/semănare certificat, fertilizarea corespunzătoare, înlăturarea buruienilor, irigarea sau drenajul, măsuri de igienă, crearea condițiilor pentru dezvoltarea și răspândirea organismelor utile, de exemplu, crearea așa-numitelor nișe ecologice), avem grijă de bunăstarea plantelor și contribuim la o mai bună rezistență a acestora la organisme dăunătoare.

Monitorizarea dăunătorilor

Inspecția regulată a culturilor sau monitorizarea apariției, dezvoltării și răspândirii organismelor dăunătoare este unul dintre elementele cheie ale protecției integrate a plantelor. Obținerea informațiilor despre starea de sănătate a plantelor agricole și dezvoltarea organismelor dăunătoare, dimensiunea populației, extinderea atacului/infecției și impactul biologic și economic potențial al organismului dăunător este realizată cu observații directe ale producătorului pe teren și cu ajutorul

serviciilor de informare "Observatorul pentru prognozele de protecție a plantelor" și al consilierilor agricoli. În determinarea momentului și spațiului celei mai eficiente măsuri de protecție a plantelor integrate, identificarea corectă a unui organism dăunător pe baza caracteristicilor morfologice sau în urma analizelor biologice, chimice sau genetice mai complexe este de o importanță primordială pentru selecția corespunzătoare a metodei de combatere. Pe baza datelor biotice colectate oficial, a condițiilor meteorologice și pe baza informațiilor și a avertismentelor de la "Serviciul de Observare și Prognoză pentru Protecția Plantelor", decidem când și cum vom acționa.

Pragul distructiv

Programele de protecție integrată a plantelor se bazează pe luarea în considerare a pragurilor economice de distrugere, a valorii critice (dacă este disponibilă). Pe baza rezultatelor monitorizării organismelor dăunătoare și luând în considerare nivelurile de daună, producătorii decid dacă să acționeze într-un anumit moment sau nu.

Utilizarea metodelor non-chimice de protecție a plantelor

Metodele biotice, fizice, biotehnice și alte metode non-chimice de protecție a plantelor au prioritate față de controlul chimic al organismelor dăunătoare, înaintea utilizării produselor de protecție a plantelor, în cazul în care acestea asigură o gestionare suficientă a organismelor dăunătoare. Utilizarea produselor chimice de protecție a plantelor se face doar în cazurile în care, în ciuda utilizării metodelor non-chimice, numărul organismelor dăunătoare este inacceptabil pentru producția normală a plantelor agricole.

Utilizarea țintită a produselor de protecție a plantelor

Orice utilizare a produselor de protecție a plantelor ar trebui să fie țintită pe cât posibil (utilizarea de produse specifice de protecție a plantelor) și să minimizeze prejudiciul adus sănătății umane, organismelor non-țintă și mediului înconjurător.

Reducerea utilizării produselor de protecție a plantelor la valoarea minimă posibilă

Utilizarea produselor de protecție a plantelor, inclusiv a altor măsuri de protecție, este limitată la nivelul strict necesar pentru a asigura sănătatea adecvată a plantelor (de exemplu, doze reduse de produse de protecție a plantelor, frecvența redusă a stropirii, aplicarea parțială sau țintită a produselor de protecție a plantelor - de exemplu, în specii). În acest fel, riscul pentru culturile agricole, precum și riscurile pentru dezvoltarea rezistenței potențiale a organismelor dăunătoare, ar trebui să fie acceptabile. Prin urmare, produsele sintetice de protecție a plantelor ar trebui să fie utilizate doar atunci când este necesar, când toate celelalte metode posibile de control al organismelor dăunătoare sunt ineficiente din punct de vedere economic pentru producția agricole.

Strategii anti-rezistență

Utilizarea unei strategii "anti-rezistență", bazată pe utilizarea produselor de protecție a plantelor cu diferite metode și spectru de acțiune, este deosebit de importantă în cazurile în care este necesar controlul repetat al dăunătorilor și pentru organismele care au dezvoltat deja rase biologice rezistente.

Observarea, monitorizarea, înregistrarea și verificarea

Prin monitorizarea regulată și amănunțită a organismelor dăunătoare și păstrarea înregistrărilor despre utilizarea produselor de protecție a plantelor și a altor măsuri de protecție, cultivatorii verifică în mod regulat eficacitatea măsurilor de protecție a plantelor aplicate.

Avantaje și dezavantaje ale managementului integrat al dăunătorilor

Avantajele managementului integrat al dăunătorilor

- O cunoaștere mai profundă și monitorizarea organismelor dăunătoare și a plantelor cultivate permit o selecție promptă și adecvată a măsurilor potrivite;

- Datorită utilizării reduse a produselor de protecție a plantelor sau utilizării produselor de protecție a plantelor ecotoxicologic mai potrivite și cu spectru de acțiune mai restrâns, există un risc redus pentru sănătatea umană, mediul înconjurător și organismele non-țintă, iar sănătatea plantelor este puțin afectată;

- Pe termen lung, utilizarea redusă a produselor de protecție a plantelor duce la economii financiare în comparație cu protecția plantelor convențională;

- Impactul favorabil asupra mediului duce la o producție agricolă mai stabilă pe termen lung;

- Protecția integrată a plantelor reduce probabilitatea apariției dăunătorilor rezistenți la produsele de protecție a plantelor.

Dezavantajele managementului integrat al dăunătorilor

- Protecția integrată a plantelor necesită mai mult timp și mai multe cunoștințe în comparație cu protecția plantelor convențională;

- Este nevoie de o coordonare mai bună și eforturi mai mari ale operatorilor pentru a asigura protecția adecvată și eficientă a plantelor;

- Protecția integrată a plantelor este inițial mai costisitoare decât metodele convenționale;

- Există un risc mai mare de dezvoltare necontrolată a organismelor dăunătoare.

Cerințe pentru gestionarea integrată a dăunătorilor

- Pot fi utilizate doar produse autorizate de protecție a plantelor;

- Produsele de protecție a plantelor autorizate trebuie să fie utilizate numai în modul prescris și la dozele prescrise;

- Intrarea produselor de protecție a plantelor trebuie să corespundă numărului maxim prescris de tratamente în raport cu pregătirea;

- Trebuie luate în considerare perioadele de pauză;

- Cu privire la produsele de protecție a plantelor utilizate, producătorii sunt obligați să țină o evidență în care trebuie să fie introduse toate PPP-urile utilizate;

- Aplicarea produselor de protecție a plantelor trebuie să respecte standardele din aceste instrucțiuni și să fie adaptate la forma de creștere și starea vegetației;

- Este necesar să se asigure că pierderea brumei de pulverizare datorată driftului, evaporării sau scurgerii suspensiei de pulverizare pe și în sol sunt reduse la minim;

- Aparatele pentru aplicarea produselor de protecție a plantelor trebuie testate;

- Utilizatorii PPP trebuie să dețină un certificat valid de dobândire a cunoștințelor fitomedicale;

- Produsele de protecție a plantelor trebuie stocate corespunzător iar la fel ca gestionarea deșeurilor provenite din ambalaje;

- Achiziționarea produselor de protecție a plantelor în țări străine, precum și utilizarea acestora, nu sunt permise în conformitate cu legea privind produsele de protecție a plantelor.

Regulile privind obligațiile utilizatorilor de produse de protecție a plantelor (Monitorul Oficial al RS, nr. 62/03, 5/07, 30/09, 83/12 – ZFfS-1, 43/14 și 71/14) prevăd că utilizatorul trebuie să se asigure că produsul de protecție a plantelor nu intră în contact direct cu oamenii și că suspensia de pulverizare nu ajunge în cursuri de apă, lacuri și alte ape curgătoare, în ape subterane, în instalații pentru furnizarea apei potabile, în plantele din culturile vecine, terenurile și depozitele de produse agricole,

în facilități pentru stocarea și procesarea plantelor, în facilitățile pentru creșterea și îngrijirea animalelor, dacă utilizarea poate pune în pericol sănătatea umană și animală. Produsele de protecție a plantelor ar trebui utilizate conform instrucțiunilor, respectând indicațiile și avertismentele de pe etichetă. Când se face stropirea, este necesar să se utilizeze metoda cea mai potrivită din punct de vedere al bunei practici agricole și protecției mediului înconjurător. Utilizatorul trebuie să manipuleze produsele de protecție a plantelor în așa fel încât să respecte prevederile reglementărilor privind siguranța și sănătatea în muncă. Când se pulverizează noaptea în apropierea așezărilor, trebuie respectate reglementările privind ordinea și liniștea publică. Pulverizarea trebuie să fie efectuată într-un mod care să prevină răspândirea pe terenuri vecine sau pe plantele cultivate vecine, ținând cont de viteza și direcția vântului. Dacă câmpul este adiacent unei șosele sau cărări, unde oamenii se plimbă sau transportă albine în timpul perioadei de pulverizare, și care ar putea fi expuși impactului negativ al produselor de protecție a plantelor, utilizatorul trebuie să oprească temporar pulverizarea. Utilizatorii, ale căror câmpuri sunt adiacente grădinițelor, școlilor, locurilor de joacă pentru copii și sportive, unităților medicale, case de bătrâni sau altor facilități similare, trebuie să notifice administrația locală a facilității în scris cu cel puțin 24 de ore înainte de utilizarea produselor de protecție a plantelor. Notificarea trebuie să includă numele comercial al produsului de protecție a plantelor, metoda, data și ora estimată a pulverizării. Atomizoarele tractoarelor și pulverizatoarele motorizate trebuie să fie utilizate la o distanță de cel puțin 20 m de stupină, clădirile menționate în paragraful anterior sau clădirile rezidențiale și terenurile lor funcționale unde stau oamenii sau se cultivă culturi agricole. Vegetația subarbustivă în livezi permanente trebuie tunsă în timpul pulverizării cu produse de protecție a plantelor, care sunt periculoase pentru albine. Utilizarea produselor sistemice de protecție a plantelor, periculoase pentru albine, este interzisă în perioada de înflorire a plantelor cultivate. Utilizarea produselor de contact de protecție a plantelor, periculoase pentru albine, este permisă în timpul înfloririi plantelor cultivate noaptea, de la două ore după apus până la două ore înainte de răsăritul soarelui. Utilizatorul de produse de protecție a plantelor trebuie să respecte restricțiile de utilizare pe anumite soluri din cauza protecției apelor subterane și de suprafață, așa cum este indicat pe etichetă și în instrucțiunile de utilizare ale produselor de protecție a plantelor și utilizarea produselor de protecție a plantelor în anumite zone în conformitate cu reglementările privind protecția apelor. Pulverizarea, pregătirea amestecului de pulverizare și spălarea dispozitivelor de aplicare a produselor de protecție a plantelor nu sunt permise în imediata apropiere a izvoarelor, cursurilor de apă, lacurilor, altor ape și instalațiilor de furnizare a apei potabile. Nu este permisă deversarea reziduurilor provenite de la produse de protecție a plantelor în fântâni, evacuări, fose septice și canalizări. Apa folosită pentru curățarea dispozitivelor trebuie să fie pulverizată pe suprafața deja tratată sau pe o altă suprafață biologic activă. Atunci când câmpurile de pulverizare sunt situate în apropierea apei, trebuie să se stabilească zona de siguranță în conformitate cu reglementările privind protecția apelor și informațiile de pe etichetă sau din instrucțiunile de utilizare.

Măsuri prescrise în gestionarea integrată a dăunătorilor

- Achiziționarea produselor de protecție a plantelor în țări străine, precum și utilizarea acestora, nu sunt permise în conformitate cu Legea privind produsele de protecție a plantelor.

- Măsuri mecanice: îndepărtarea părților infectate sau întregi ale plantelor, îndepărtarea plantelor parazite, înlăturarea mecanică a buruienilor, utilizarea plasei de protecție și a acoperișurilor.

- Măsuri biotice: Producătorul creează condiții favorabile pentru dezvoltarea organismelor benefice prin: conservarea și plantarea gardurilor vii, arbuștilor și altor varietăți de plante; cultivarea unei varietăți de plante subarbustive; pentru adăposturile animalelor utile, acestea sunt reglementate de stânci și grămezi de ramuri; se amplasează cuiburi pentru păsări utile; se instalează stâlpi înalți pentru

a atrage păsările de pradă; se observă, se introduce și se controlează o faună utilă (în special acarieni prădători, măturі, tremuri, tămâieri, viespi, etc.).

- Măsuri biotehnice: utilizarea capcanelor cu feromoni, a dispozitivelor acustice, a metodelor de confuzie și a altor posibilități de capturare a insectelor (de exemplu, capturarea în masă).

- Măsuri chimice: Atunci când, în ciuda aplicării măsurilor menționate mai sus, se depășește pragul de distrugere, pot fi utilizate produsele de protecție a plantelor.

Bibliografie

- Portalul IPM: https://www.ivr.si/.

- IPM: https://www.gov.si/teme/integrirana-pridelava/.

- Reguli ale managementului integrat al dăunătorilor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11530

- Reguli legate de responsabilitățile utilizatorilor de produse de protecție a plantelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3724

- Reguli referitoare la utilizarea corespunzătoare a produselor de protecția plantelor

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11541

Măsuri de combatere a dăunătorilor

Măsurile de combatere a dăunătorilor sunt stabilite de Regulamentul privind protecția integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, Nr. 43/14). Fiecare utilizator de produse de protecție a plantelor trebuie să faciliteze creșterea sănătoasă a plantelor și controlul organismelor dăunătoare prin implementarea unor măsuri integrate de protecție a plantelor (utilizând o combinație de măsuri preventive, metode de protecție a plantelor cu risc scăzut, utilizarea produselor de protecție a plantelor, etc.). În plus față de aceste măsuri, el trebuie să inspecteze și în mod regulat livezile și culturile sale, să monitorizeze apariția organismelor dăunătoare și, bazându-se pe propria judecată și experiență, să aleagă metoda cea mai potrivită de protecție a plantelor.

Pentru controlul organismelor dăunătoare, utilizatorul de produse de protecție a plantelor ia în considerare informațiile referitoare la pragul de dăunători (dacă sunt disponibile), momentul potrivit pentru utilizarea produsului de protecție a plantelor și sfaturile privind utilizarea produselor de protecție a plantelor. Produsul de protecție a plantelor utilizat ar trebui să fie cât mai specific și eficient posibil în raport cu scopul utilizării și ar trebui să aibă cât mai puține efecte adverse pe cât posibil asupra sănătății umane, a organismelor non-țintă și a mediului înconjurător. Dacă sunt disponibile, pot fi utilizate și metode de protecție a plantelor cu risc scăzut. Utilizatorul de produse de protecție a plantelor poate obține aceste informații de la consilierii publici în domeniul sănătății plantelor și pe site-ul Ministerului Agriculturii, Pădurilor și Alimentației.

Fiecare utilizator de produse de protecție a plantelor pentru uz profesional trebuie să respecte și să implementeze măsurile permise de protecție integrată a plantelor pe toate suprafețele cultivate (zone proprii și închiriate).

Măsuri de prevenire a apariției organismelor dăunătoare

Măsuri preventive

Fiecare utilizator de produse de protecție a plantelor pentru uz profesional trebuie să planifice și să efectueze cultivarea plantelor prin implementarea unor măsuri preventive cu scopul de a preveni dezvoltarea organismelor dăunătoare (boli și dăunători) și a buruienilor.

Locația

Cerințele în producția integrată de culturi referitoare la alegerea locației sunt următoarele: într-o anumită locație, putem cultiva doar tipuri/soiuri de culturi care sunt potrivite din punct de vedere al caracteristicilor climatice, posibilitatea de aprovizionare suplimentară cu apă, proprietățile solului și relieful.

Recomandările sunt: în funcție de condițiile specifice ale locației, este necesar să asigurăm protecția împotriva vânturilor și să garantăm diversitatea biotică și efectele sale pozitive asupra mediului înconjurător. În funcție de locație (teren în pantă, nivelul apei freatice, cursuri de apă deschise, etc.), este necesară o atenție specială cu privire la impactul negativ suplimentar asupra mediului înconjurător (sol, rotația culturilor, sortiment, fertilizare, protecție a plantelor, economie a cultivării).

La alegerea unei locații pentru cultivarea legumelor, este necesar să luăm în considerare condițiile climatice (cantitatea de precipitații, riscul de îngheț, umiditatea aerului), tipul de sol (adâncimea, conținutul de nutrienți, disponibilitatea de nutrienți, conținutul de humus, activitatea biologică a solului), relieful (panta și expunerea terenului), aprovizionarea cu apă (adâncimea apei freatice, posibilitatea de irigare, capacitatea de reținere a solului) și infrastructura din punct de vedere ecologic (protecția împotriva vântului, protecția împotriva eroziunii, conservarea biotopurilor, protecția apelor).

Managementul solului

Interdicțiile în producția integrată de culturi sunt următoarele:

- tratamentul solului înghețat;

- tratamentul de bază și preînsămânțare în solurile prea umede sau prea uscate;

- arderea reziduurilor de recoltă (paie, coji de porumb, etc.) este interzisă pe câmpuri;

- lipsa pe tot parcursul anului a acoperirii solului (majoritatea primăverii și verii, solul trebuie să fie semănat și îngrijit intenționat).

Măsurile necesare în producția integrată de culturi sunt:

- controlul mecanic al buruienilor cel puțin o dată în fiecare cultură (utilizarea diferitelor metode de prelucrare mecanică a solului);

- metode de utilizare a terenului care nu reduc semnificativ populația de microorganisme benefice din sol (râme, etc.) pe termen lung;

- cultivarea solului într-un mod care să prevină compactarea solului;

- lucrarea solului care să conserve structura solului (cultivarea unui sol cu umiditate adecvată);

- asigurarea unui conținut suficient de humus;

- lucrarea solului pe terenurile în pantă transversal cu panta (prevenirea eroziunii);

- adoptarea unei strategii de cultivare bazate pe reducerea reziduurilor de produse de protecție a plantelor (rotația culturilor, respectarea regulilor de protecție integrată a plantelor);

- crearea unui echilibru de nutrienți, verificarea necesităților de azot (fertilizare);

- în funcție de textura solului și cerințele culturilor, asigurarea valorii de pH adecvate a solului;

- mulcirea și ararea reziduurilor de culturi sunt obligatorii deja în toamnă (de exemplu, cu porumb și sorg, din cauza gândacului european al porumbului - *Ostrinia nubilalis*).

Recomandările în producția integrată de culturi sunt următoarele:

- în cazul unui regim regulat de apă-aer, este necesară înlăturarea corespunzătoare a buruienilor, din când în când, în locul arăturii clasice, efectuați tratamente fără plug (tratarea conservatoare a solului) sau semănat direct;

- echipați tractoarele și mașinile cu anvelope sau accesorii care previn compactarea solului;

- semănarea culturilor de acoperire de iarnă și de non-iarnă.

Cerințele în producția integrată de legume sunt:

- toate măsurile de lucrare a solului trebuie să vizeze menținerea sau îmbunătățirea fertilității și structurii solului, un echilibru echilibrat de humus în sol și asigurarea unei rotații diverse și echilibrate a culturilor.

Interdicțiile în producția integrată de legume sunt:

- lipsa pe tot parcursul anului a acoperirii solului;

- utilizarea ierbicidelor în zonele protejate;

- dezinfectarea chimică a podelei în sere;

- un sistem deschis de producție de legume hidroponice în sere.

Măsurile în producția integrată de legume sunt:

- prevenirea compactării solului;

- implementarea afânării profunde;

- lucrarea solului pe suprafețe înclinate transversal cu panta (prevenirea eroziunii);

- ararea reziduurilor de culturi cât mai târziu posibil, toamna;

- ararea brazdei de iarnă, dacă este necesar, cât mai târziu posibil;

- prevenirea paraginii de iarnă (zonă neînsămânțată peste iarnă);

- cultivarea care să conserve structura solului;

- asigurarea unui conținut suficient de humus.

Cerințele privind îngrijirea solului în producția integrată de fructe sunt următoarele:

- cultivatorul trebuie să întrețină bine spațiul dintre specii, cu unele excepții (livezile de piersici și caise pe teren fără posibilitate de irigare în regiunea Primorska; livezile tinere înainte de formarea finală a volumului de fructe; piersici de până la 3 ani; cireșe, vișine, prune și gutui de până la 5 ani; caise de până la 6 ani, măslini de până la 7 ani, livezi de actinidii de până la 4 ani și livezi de căpșuni);

- lucrarea solului trebuie să fie superficială (cultivare, arătur[superficială), din octombrie până la sfârșitul lunii februarie solul nu este lucrat;

- cultivatorii trebuie să lase în livezi iarba tăiată datorită ciclului închis al substanțelor;

- în livezile noi, cu unele excepții, înșăturarea imediată a ierbii este obligatorie.

- cosirea terasamentelor în livezi pe terase este obligatorie.

- limitarea răspândirii buruienilor nedorite este posibilă prin înverzirea naturală a benzilor folosind plante joase care au rădăcini superficiale, prin acoperirea benzilor sub copaci cu materiale organice sau folie, prin suprimarea mecanică sau termică a buruienilor, prin cosirea sau mulcirea regulată și prin utilizarea de erbicide aprobate.

- pe rând, este permisă utilizarea erbicidelor (banda de erbicid), care nu trebuie să depășească 1/3 din distanța dintre rânduri (în cazul căpșunilor, restricțiile privind banda de erbicid nu se aplică).

- sunt permise excepții în ceea ce privește lățimea benzii de erbicid în unele cazuri (pentru livezile de mere și pere pe mai multe rânduri plantate înainte de 1991; în livezile de nuci și aluni, doar în timpul coacerii fructelor, lățimea benzii de erbicid este permisă până la 2/3 din distanța dintre rânduri, altfel se aplică 1/3).

Cerințele pentru îngrijirea solului în producția integrată de struguri sunt:

- arderea resturilor de iarbă și a taluzurilor este interzisă;

- buruienile pot fi îndepărtate doar mecanic în banda sub vița-de-vie (dacă măsurile de îndepărtare mecanică a buruienilor sunt ineficiente, pot fi utilizate erbicide aprobate);

- lățimea benzii "tratate" sub vița-de-vie nu trebuie să depășească 25% din suprafața netă a viei.

Rotația culturilor

Implementarea rotației culturilor trebuie să se facă pe cel puțin 50% din toate terenurile arabile. O rotație adecvată a culturilor este una care corespunde tehnologiei de cultivare selectate (cel puțin o rotație la doi ani, se recomandă cel puțin o rotație de trei ani).

Interdicții:

- este interzisă rotația secvențială a culturilor principale a speciilor individuale și celor de plante conexe (aceeași gen), cu excepția hameiului;

- porumbul poate fi semănat pe același câmp de cel mult două ori în trei ani, dar niciodată de două ori consecutiv;

- suprafața câmpului trebuie să fie "acoperită" (nu numai cu buruieni) după recoltare (peste vară);

- este interzis să existe teren arabil neacoperit în timpul iernii în zonele de protecție a apei și în zonele expuse eroziunii solului.

Acțiuni obligatorii:

- luarea în considerare a efectelor culturilor în rotație asupra prevenirii apariției bolilor și dăunătorilor, care pot fi rezultatul unei rotații inadecvate a culturilor;

- schimbarea speciilor de plante;

- în timpul "pauzei", adică înainte de replantarea hameiului pe același câmp, este obligatorie o pauză de cel puțin doi ani în rotația culturilor (sunt de dorit plante din familia *Fabaceae*), cu excepția cazului apariției vătămării cu verticil a hameiului, unde se recomandă implementarea rotației culturilor cu plante cu frunze înguste care previn răspândirea vătămării cu verticil a hameiului (*Verticillium nonalfalfae* și *Verticillium dahliae*).

Recomandări:

- pe terenurile unde există iarbă sau amestecurile de iarbă și trifoi, este de așteaptat un atac mai puternic al gândacilor pocnitori (*Elateridae*), astfel încât se recomandă mai întâi înverzirea solului cu plante care conțin glucozinolați (cele mai potrivite plante sunt din familia *Brassicaceae*: muștar alb, canola, rapiță).

Varietăți tolerante și rezistente

Cerințe:

- Este necesar să se aleagă soiuri cât mai tolerate sau rezistente posibil la boli și dăunători și acelea cu cel mai mare prag posibil de dăunători datorită organismelor dăunătoare;

- În funcție de producție, se aleg soiuri cu anumite caracteristici (plante cu frunze verticale și posibilitatea de a crește setul de plante sau plante cu frunze mai late și căzătoare cu o acoperire mai mare - prevenirea buruienilor).

Interdicții:

- Este interzisă utilizarea plantelor modificate genetic;

- Pentru semănat/plantare, este interzisă utilizarea semințelor care nu respectă regulamentele privind sănătatea plantelor.

Recomandări:

- Se recomandă utilizarea de semințe certificate pentru semănat/plantare;

La cultivarea legumelor, calitatea semințelor și a răsadurilor afectează direct dezvoltarea legumelor și apariția bolilor și dăunătorilor, așa că este recomandată folosirea de semințe sau răsaduri de înaltă calitate și sănătoase și efectuarea unei selecții stricte la creșterea răsadurilor (eliminarea răsadurilor infectate și slab dezvoltate). De asemenea, se recomandă păstrarea etichetei sau a pașaportului

plantelor după semănare sau plantare, astfel încât în cazul apariției unei boli sau dăunători, să se poată urmări locul de origine.

Utilizarea soiurilor tolerante și rezistente în producția de fructe și viticultură este importantă în ceea ce privește reducerea apariției unor organisme dăunătoare și, astfel, și reducerea utilizării produselor de protecție a plantelor.

Curățarea utilajelor și echipamentelor

Curățarea utilajelor și echipamentelor după terminarea lucrului pe teren sau la sfârșitul zilei de lucru pentru a preveni răspândirea organismelor dăunătoare (dăunători, boli ale plantelor, buruieni).

Metode cu risc scăzut de protecție a plantelor

Utilizarea unor substanțe de bază

Substanțele de bază care pot fi utilizate pentru protecția plantelor sunt acele substanțe care nu prezintă probleme în ceea ce privește cauzarea dezechilibrelor hormonale și nu au efecte neurotoxice sau imunotoxice. Acestea sunt autorizate pentru alte scopuri și nu sunt utilizate în mod normal pentru protecția plantelor și nu sunt puse pe piață ca produse de protecție a plantelor, dar sunt totuși utile ca produse de protecție a plantelor. Substanțele de bază includ acele substanțe care îndeplinesc criteriile pentru alimente.

Utilizarea substanțelor de bază în Uniunea Europeană este aprobată de Comisia Europeană. Comisia Europeană solicită Agenției Europene pentru Siguranța Alimentară asistență tehnică și științifică și o opinie cu privire la cerere. Pe baza acestei opinii, Comisia Europeană aprobă sau respinge substanța ca substanță de bază. Substanța de bază permisă este înscrisă într-o parte specială a listei de substanțe active aprobate - "Baza de date a pesticidelor UE"- https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en#FFS

Tabelul 1: Lista substanțelor de bază.

Denumire sau nume latin	Utilizare permisă în agricultura organică
Equisetum arvense L.	Da, dar nu ca erbicid
Hidroclorit de chitosan	Da, dar nu ca erbicid
Sucroză	Da, dar nu ca erbicid
Hidroxid de Calciu	Da, dar nu ca erbicid
Fructoză	Da, dar nu ca erbicid
Lecitină	Da, dar nu ca erbicid
Salix spp. Cortex	Da, dar nu ca erbicid
Oțet	Da, dar nu ca erbicid
Carbonat de sodiu hidrogenat	Da, dar nu ca erbicid
Fosfat de diamoniu	Da, dar nu ca erbicid
Zer	Da, dar nu ca erbicid
Ulei de floarea soarelui	Da, dar nu ca erbicid
Urtica spp.	Da, dar nu ca erbicid
Apă oxigenată	Da, dar nu ca erbicid

Cărbune argilos	Nu
Bere	Da, dar nu ca erbicid
Pudra semințelor de muștar	Da, dar nu ca erbicid
Clorură de sodiu	Nu
Talc	Nu
Ulei de ceapă	Da, dar nu ca erbicid
L-cysteină (E 920)	Da, dar nu ca erbicid
Lapte de vacă	Da, dar nu ca erbicid
Extract din bulbi de *Allium cepa* L.	Da, dar nu ca erbicid
Alte substanțe de bază din plante sau de origine animală bazate pe alimente	Da, dar nu ca erbicid

Utilizarea produselor de protecție a plantelor permise pentru agricultura organică



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO, GOZDARSTVO IN PREHRANO

UPRAVA RS ZA VARNO HRANO, VETERINARSTVO IN VARSTVO RASTLIN

eznam FFS, dovoljenih v ekološki pridelavi - Datum izpisa: 12.10.2022 15:19:29

e FFS	Aktivna snov in vsebnost	Vrsta sredstva	Številka odločbe	Veljavnost registracije	Proizvajalec	Zasto
GREE WG	Bacillus Thuringiensis var. Aizawai (50%)	INSEKTICID	U34330-1/22/8 (28.03.2022), U34330-1/20/13 (26.03.2020), U34330-197/14/16 (22.01.2018), U34330-197/14/10 (19.05.2017), U34330-197/14/7 (11.04.2017), U34330-197/14/1 (24.11.2016)	30.04.2024	Mitsui AgriScience International S.A./B.V.	
MYLO - X	Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum, sev D747 (25%)	FUNGICID, BAKTERICID	U34330-34/17/11 (12.03.2020), U34330-101/19/2 (04.02.2020), U34330-34/17/4 (26.10.2017)	31.03.2026	CBC (Europe) S.r.l.	KARS proiz Duto Ljubl
Q-10	Ampelomyces quisqualis sev AQ10 (58%)	FUNGICID	U34330-172/14/29 (12.07.2022), U34330-172/14/24 (08.12.2020), U34330-101/19/2 (04.02.2020), U34330-172/14/15 (18.07.2019)	31.07.2034	CBC (Europe) S.r.l.	KARS proiz Duto Ljubl
RGOS	olje pomarančevca (84,32%)	FITOREGULATOR	U34330-81/20/17 (13.09.2021)	31.07.2025	Arysta LifeScience Benelux Sprl	PICO
ZATIN EC	azadirahtin A (2,6%)	INSEKTICID	U34330-57/19/5 (20.11.2020)	31.05.2025	Certis USA L.L.C.	Mitsu S.A./
ZUMO WG	žveplo (80%)	FUNGICID	U34330-13/19/13 (22.06.2022), U34330-13/19/9 (03.12.2021), U34330-13/19/4 (14.08.2020)	31.12.2023	AZUFRERA Y FERTILIZANTES PALLARES S.A. (AFEPASA)	
ADGE WG	baker v obliki bakrovega oksiklorida (24,5%), baker v obliki bakrovega hidroksida (24,4%)	FUNGICID, BAKTERICID	U34330-91/14/26 (16.12.2020), U34330-91/14/22 (04.11.2019), U34330-91/14/13 (29.01.2019), U34330-91/14/11 (22.12.2017), U34330-91/14/5 (16.10.2017)	31.12.2022	ISAGRO S.p.A.	
ANARG	etilen (4%)	FITOREGULATOR	U34330-114/15/5 (22.02.2018)	31.08.2023	Linde AG	GTG
IO PLANTELLA ARION PROTI OLŽEM (staro ime BIO LANTELLA PROTI POLŽEM)	železov (III) fosfat (0,98%)	LIMACID	U34330-53/19/11 (17.06.2021), U34330-53/19/3 (23.12.2019)	31.12.2031	Doff Portland Ltd.	UNIC
IO PLANTELLA KENYATOX	piretrin (0,2%)	INSEKTICID	U34330-34/20/2 (21.07.2020)	31.08.2023	COPYR S.p.a.	UNIC
IOTIP APHICID PLUS	piretrin (0,2%)	INSEKTICID	U34330-1/20/15 (04.06.2020), U34330-32/13/14 (30.01.2019), U34330-32/13/9 (21.12.2016)	31.08.2023	COPYR S.p.a.	BIOT
IOTIP FLORAL	piretrin (1,82%)	INSEKTICID	U34330-1/20/15 (04.06.2020), U34330-99/15/21 (17.03.2017), U34330-99/15/16 (20.10.2016), U34330-99/15/6 (31.03.2016)	31.08.2023	COPYR S.p.a.	BIOT
IOTIP SULFO 800 SC	žveplo (80%)	FUNGICID	U34330-29/18/19 (15.01.2021), U34330-1/20/34 (18.12.2020), U34330-29/18/10 (18.01.2019)	31.12.2022	CIECH Sarzyna Spółka Akcyjna	BIOT
IOTIP UBIJ ME NEŽNO PLUS	piretrin (0,2%)	INSEKTICID	U34330-1/20/15 (04.06.2020), U34330-119/13/11 (30.01.2019), U34330-119/13/5 (19.12.2016)	31.08.2023	COPYR S.p.a.	BIOT
OTANIGARD OD	Beauveria bassiana, sev GHA (10,17%)	INSEKTICID	U34330-1/21/2 (28.04.2021), U34330-50/18/11 (13.11.2019), U34330-50/18/5 (07.05.2019)	30.04.2023	Mycotech Europe Limited	METI
OTANIGARD WP	Beauveria bassiana, sev GHA (22%)	INSEKTICID	U34330-1/21/2 (28.04.2021), U34330-49/18/15 (10.06.2020), U34330-50/18/11 (13.11.2019), U34330-49/18/6 (07.05.2019)	30.04.2023	Mycotech Europe Limited	METI

Figura 1: Lista produselor de protecție a plantelor permise în producția organică

(Sursa: http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=2&top=1)

Produsele de protecție a plantelor permise în agricultura organică pot fi utilizate și în producția integrată, lista produselor permise in Republica Slovenă este disponibilă urmând linkul următor: http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L= 1&S=2&top=1

Măsuri non-chimice pentru reducerea apariției dăunătorilor

Controlul mecanic sau fizic al buruienilor (automat sau manual)

Controlul mecanic manual al buruienilor poate fi făcut pe terenuri mici, în timp ce pe suprafețe mai mari sunt folosite mașini (răzuitoare, prășitoare).



Figura 2: Înlăturarea mecanică a buruienilor la cereale. (Sursa: https://eggmann-landmaschinen.ch/dienstleistungen/landtechnik)



Figura 3: Înlăturarea buruienilor la porumb. (Sursa: https://www.moreki.co.bw/2020/07/28/mechanical-weed-control)



Figura 4: Înlăturarea mecanică a buruienilor în livezi și vii (Sursa: https://www.northernequipment.ca/kultkressvineyardfingerweeder)

Înlăturarea mecanică sau fizică a plantelor sau a unor părți infectate ale plantelor

Este o măsură pentru îndepărtarea părților infectate ale plantelor (frunze, lăstari, formațiuni canceroase, "mumii" etc.), întregi sau plante parazite (de exemplu: vâscul alb - *Viscum album*). Exemplu: În cazul mucegaiului pulbere al mărului (*Podosphaera leucotricha*) sau a focului bacterian (*Erwinia amylovora*), lăstarii infectați sunt îndepărtați prin tăiere, iar în cazul *Flavescence dorée* (dăunător în carantină), vița de vie trebuie eliminată.

Utilizarea organismelor benefice pentru protecția biotică a plantelor

Protecția biotică a plantelor este o metodă de protecție în care sunt folosite organisme vii pentru controlul dăunătorilor. Aceste organisme vii pot fi "prădători" (larve și adulți *Coccinellidae*, larve de fluturi verzi comuni, Cimicomorpha, acarieni prădători, etc.), care ne ajută să reducem populația organismelor dăunătoare. Parazitoizii își depun ouăle în, pe sau lângă dăunători, iar larvele care se dezvoltă din acestea se hrănesc apoi cu dăunătorii.

Utilizarea dușmanilor naturali în controlul organismelor dăunătoare este reglementată în Slovenia de Regulamentul privind protecția biotică a plantelor (Ur. l. RS 45/06), un component important al acestui regulament fiind "Lista speciilor native de organisme pentru protecția biotică a plantelor", care enumeră în prezent 29 de tipuri de agenți biotici (19 tipuri de prădători, 6 tipuri de parazitoizi și 4 tipuri de nematozi entomopatogeni). Acestea sunt organisme răspândite în mediul nostru natural, fie datorită originii lor native, fie datorită faptului că au fost introduse intenționat sau neintenționat în Europa din alte continente în trecut. În Europa, aceste organisme s-au dovedit a fi dușmani naturali eficienți ai dăunătorilor, fără să prezinte efecte adverse asupra dușmanilor naturali nativi. Propunerile pentru includere în "Lista EPPO" sunt luate în considerare de membrii Panelului EPPO pentru Protecția Biotică a Plantelor.

Koristni organizem	Ciljni škodljivi organizem	Uporaba (prostor ločen od narave / na prostem)
Adalia bipunctata	Aphididae	Prostor ločen od narave
Aeolothrips intermedius	Acarina, Thysanoptera	Na prostem
Amblyseius andersoni	*Tetranychus urticae, Aculus schlechtendali, Panonychus ulmi, Tetranychus cinnabarinus, Aculops lycopersici,* Thysanoptera	Prostor ločen od narave / na prostem
Amblyseius barkeri	*Thysanoptera (Thrips tabaci, Frankiniella occidentalis),* Tarsonemidae	Prostor ločen od narave
Anastatus bifasciatus	Heteroptera (*Halyomorpha halys*)	Na prostem
Anthocoris nemoralis	Psyllidae	Na prostem (v sadovnjakih)
Anthocoris nemorum	*Caccopsylla pyri*, Thysanoptera	Na prostem
Aphelinus mali	*Eriosoma lanigerum*	Na prostem
Aphidius ervi	*Aulacorthum solani, Macrosiphum euphorbiae* in druge vrste iz družine Aphididae	Prostor ločen od narave / na prostem
Aphidius matricariae	*Myzus persicae*	Prostor ločen od narave / na prostem
Aphidoletes aphidimyza	Aphididae (*Aphis gossypii, Myzus persicae, Macrosiphum* sp., *Aulacorthum* sp.)	Prostor ločen od narave / na prostem
Chrysoperla carnea	Aphididae	Prostor ločen od narave / na prostem
Coccinella septempunctata	Aphididae	Na prostem
Diglyphus isaea	Agromyzidae (*Liriomyza* spp.)	Prostor ločen od narave / na prostem
Encarsia formosa	Aleyrodidae *(Trialeurodes vaporariorum, Bemisia tabaci)*	Prostor ločen od narave

Tabelul 2: Lista speciilor native de organisme pentru protecția plantelor. (Soursa: https://www.gov.si/teme/bioticno-varstvo-rastlin)

Metoda "confuziei"(sisteme de control bazate pe feromoni)



Figura 5: Dispenser "Isomate CTT" pentru aplicarea metodei "confuziei" în livezi împotriva molei merelor. (Sursa: https://www.karsia.si/isomate-c-tt)

În viticultură și în cultura pomilor fructiferi, se folosește metoda "confuziei" cu ajutorul dispozitivelor emițătoare de feromoni. Metoda se bazează pe semnale false date de feromoni care anulează feromonii eliberați natural de către femele și astfel masculii sunt păcăliți atunci când caută femele cu care să se împerecheze. Dispozitivele eliberează aceiași feromoni pe care femele îi eliberează, și în acest fel păcălesc masculii și, prin urmare, aceștia sunt "confuzi" în timp ce caută femele în timpul

sezonului de împerechere. Ca rezultat, femelele nu sunt fertilizate și depun ouă infertile din care dăunătorul nu se dezvoltă.

Lista feromonilor permiși se găsește aici:
http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=4&top=1

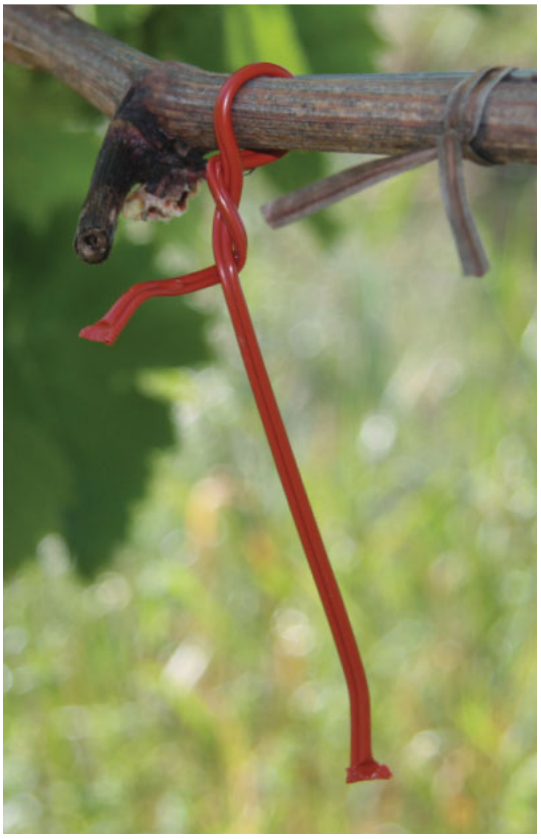


Figura 6: Dispenser "Isonet L Plus" pentru aplicarea metodei "confuziei" în viticultură împotriva moliei de vie. (Sursa: https://www.karsia.si/isonet-l-plus)

Bibliografie

- Reguli ale managementului integrat al dăunătorilor:
http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11530

- IPM: https://www.gov.si/teme/integrirana-pridelava/

- Substanțe de bază pentru protecția plantelor: https://www.gov.si/teme/osnovne-snovi-za-varstvo-rastlin/

- Lista PPP, permise în agricultura organică:
http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=2&top=1

- Protecția biotică a plantelor: https://www.gov.si/teme/bioticno-varstvo-rastlin/

- Lista PPP, bazate pe microorganisme, extracte, feromoni
http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=4&top=1

Optimizarea utilizării produselor de protecție a plantelor în agricultură

În 2002, Parlamentul European a adoptat o Strategie Tematică privind Utilizarea Durabilă a Pesticidelor sub forma unor programe de acțiune pentru reducerea riscurilor pentru sănătatea umană și mediul înconjurător generate de utilizarea pesticidelor. Comisia Europeană a luat în considerare aceste orientări și a stabilit criterii stricte pentru autorizarea produselor de protecție a plantelor (PPP), colectarea datelor privind vânzarea și utilizarea PPP și măsuri în cadrul legislației privind utilizarea durabilă a PPP. Toate aceste măsuri vor fi acoperite de un program național de acțiune cu scopul de a reduce riscurile impactului potențial al PPP asupra sănătății umane, animalelor, apei potabile, a apelor de suprafață și subterane și a altor medii.

Utilizarea durabilă a produselor de protecție a plantelor (PPP) include, de asemenea, politicile și măsurile pe care le implementăm ca rezultat al utilizării PPP, cu scopul de a reduce riscurile și impactul asupra sănătății umane și animale, și pentru mediu. Utilizatorii de PPP vor fi încurajați să utilizeze PPP, să implementeze managementul integrat al dăunătorilor și să utilizeze PPP cu risc redus. De asemenea, se furnizează informații regulate și conștientizare publică cu privire la PPP, formare pentru consultanții PPP, vânzătorii de PPP și utilizatori, și inspecții ale dispozitivelor de aplicare a PPP. Utilizarea durabilă a produselor de protecție a plantelor îndreaptă utilizatorul de PPP către utilizarea optimă, către protejarea mediului și a sănătății umane.

Utilizarea de produse de protecție a plantelor (PPP) în Slovenia

În Slovenia, majoritatea studiilor mai vechi privind reziduurile de PPP în mediu au fost efectuate pe culturi, apă sau sol, în cazul în care produsele de protecție a plantelor au fost introduse direct pe terenurile agricole.

Odată cu adaptarea legislației Uniunii Europene, Legea privind produsele de protecție a plantelor a restricționat utilizarea PPP cu componente multiple din cauza detectării reziduurilor acestora în ape și a stabilit că utilizarea PPP trebuie să fie sigură (nepericuloasă pentru sănătatea umană în contact direct sau indirect), specifică (eficientă pentru controlul organismelor dăunătoare specifice acceptabile pentru organismele non-țintă) și inexistentă (să se descompună în componente chimice simple fără efecte dăunătoare asupra mediului). Substanțele active "vechi" au fost, de asemenea, reevaluate și substanțele periculoase au fost excluse de la utilizare. Înregistrarea – autorizarea pentru utilizarea unui PPP specific este acordată pentru o perioadă maximă de 10 ani cu posibilitatea de reînnoire, dacă este cazul. În cazul în care, pe baza cunoștințelor tehnice și științifice, există motive rezonabile pentru a suspecta că un PPP deja înregistrat constituie un pericol pentru sănătatea umană și mediul înconjurător, Ministrul Agriculturii are puterea de a restricționa sau interzice utilizarea acestuia.

Aplicarea PPP este, de asemenea, reglementată la nivelul Uniunii Europene prin legislația privind protecția apelor (Directiva Cadru privind Apa (2000/60/EC), Directiva privind Apa Subterană (2006/118/EC) și Directiva privind Standardele de Calitate a Mediului în domeniul politicii privind apa (2008/105/EC)). În Slovenia, odată cu aderarea la această legislație în ceea ce privește cerințele Uniunii Europene, au fost adoptate două reglementări - Regulamentul privind starea apelor de suprafață (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, nr. 14/09 și 98/10) și Regulamentul privind Starea Apelor Subterane (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, nr. 25/09 și 68/12). Aceste două reglementări stabilesc standarde de calitate a mediului pentru fiecare tip de poluare care prezintă un risc semnificativ pentru mediul acvatic și pentru captarea apei potabile.

Din 2001, Legea privind Produsele de Protecție a Plantelor impune tuturor utilizatorilor de PPP să ofere educație obligatorie (fără a trece un examen de fitomedicină și obținerea unui certificat de cunoștințe în fitomedicină, PPP nu pot fi achiziționate și utilizate) și examinarea dispozitivelor de aplicare a PPP pe plante.

Măsurile sunt orientate către informarea și educarea utilizatorilor cu privire la utilizarea corectă a PPP (accentul pe protecția apelor subterane și de suprafață, protecția albinelor, eliminarea în condiții de siguranță a deșeurilor și a deșeurilor de ambalaje ale PPP), promovarea producției integrate și organice, atât pentru testarea protecției biotice, cât și a altor metode non-nucleare, precum și pentru sfaturi privind utilizarea PPP mai puțin periculoase, mai puțin persistente și mai degradabile, și pentru a optimiza utilizarea acestor PPP.

Obiectivele referitoare la utilizarea fitofarmaceuticelor în Slovenia sunt următoarele:

- reducerea pericolelor și riscurilor pentru sănătatea umană și animală și pentru mediul înconjurător datorită utilizării PPP, inclusiv înlocuirea substanțelor cele mai periculoase cu altele mai sigure,

- reducerea nivelului de substanțe active dăunătoare sănătății în alimente și apă potabilă, inclusiv înlocuirea substanțelor cele mai periculoase cu altele mai sigure,

- promovarea producției agricole în sensul în care PPP sunt utilizate conform principiilor protecției integrate a plantelor doar atunci când este absolut necesar sau justificat economic,

- informarea și conștientizarea regulată a utilizatorilor despre utilizarea sigură a PPP, încurajarea dezvoltării și introducerii agriculturii organice și a altor practici agricole naturale,

- crearea unui sistem transparent pentru raportarea progresului în atingerea obiectivelor strategiei și monitorizarea acestui progres, inclusiv dezvoltarea indicatorilor relevanți,

- asigurarea utilizării durabile a PPP pentru toate tipurile de plante, reducând în același timp riscul datorat utilizării PPP.

- utilizarea profesional justificată a PPP, care ar trebui să se bazeze pe îmbunătățirea procedurilor tehnologice pentru producția plantelor cultivate, cu ajutorul serviciului de prognoză,

- îmbunătățirea competențelor profesionale ale utilizatorilor de PPP,

- reducerea reziduurilor de PPP în culturi,

- reducerea poluării apelor de suprafață și subterane datorată utilizării PPP,

- îmbunătățirea controlului asupra utilizării PPP (pentru scopuri agricole și non-agricole),

- îmbunătățirea controlului asupra eliminării deșeurilor de ambalaje ale PPP,

- instituirea unei monitorizări sistematice a impactului PPP asupra unor organisme non-țintă (albine, păsări, pești) și

- instituirea unei monitorizări sistematice a impactului PPP asupra sănătății utilizatorilor de PPP.

Instruirea în manipularea produselor de protecție a plantelor (PPP)

În Slovenia, sistemul de instruire pentru utilizatorii și distribuitorii de PPP, inclusiv lectorii, există de ani de zile începând cu 2001 și este realizat în conformitate cu Regulile privind instruirea profesională și testarea cunoștințelor în fitomedicină (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, nr. 36/02, 41/04, 17/05, 92/06, 99/08, 83/12 – ZPPP-1 și 85/13). Sistemul de instruire existent în fitomedicină este împărțit în următoarele grupuri: instruirea persoanelor responsabile și a lectorilor în fitomedicină și instruirea implementatorilor de măsuri și a vânzătorilor. Acestea se deosebesc între ele în durata instruirii, scop și, parțial, și în conținut. Odată cu înființarea instruirii, conținuturile cheie au fost legate de protecția plantelor, utilizarea PPP și legislația în acest domeniu. Materialul de instruire include următoarele teme: patogeni și dăunători ai plantelor și impactul buruienilor, impactul asupra sănătății umane și a mediului înconjurător al PPP, tehnica de aplicare a PPP și legislația.

Instruirea de bază constă într-un curs și un test scris de cunoștințe:

- pentru consilierii PPP (cel puțin 35 de ore),

- pentru vânzătorii de PPP (cel puțin 20 de ore),

- pentru implementatorii de măsuri de protecție a plantelor sau utilizatorii de PPP (cel puțin 15 ore).

Instruirea suplimentară se desfășoară sub formă de curs fără un test scris de cunoștințe și durează cel puțin:

- pentru consilierii PPP (cel puțin 8 ore),

- pentru vânzătorii de PPP (cel puțin 6 ore),

- pentru implementatorii de măsuri de protecție a plantelor sau utilizatorii de PPP (cel puțin 4 ore).

Conținutul instruirii PPP include:

- legislația în domeniul PPP;

- PPP false și metode pentru identificarea lor;

- pericolele și riscurile asociate cu PPP și modalitatea de identificare și controlare a acestor riscuri în raport cu riscurile pentru persoane (utilizatorii de PPP, populație, alte persoane care stau pe marginea câmpului tratat, persoanele care intră în zonele tratate, persoanele care manipulează plantele tratate sau consumă părți ale plantelor tratate - simptomele de otrăvire cu PPP și măsurile de prim ajutor);

- riscurile pentru plantele non-țintă, insectele benefice, fauna sălbatică, biodiversitatea și mediul înconjurător;

- strategii și tehnici de protecție integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare, principiile agriculturii organice, metodele de control biotic al organismelor dăunătoare;

- practici sigure pentru depozitarea, manipularea și amestecarea PPP și eliminarea ambalajelor goale, a altor materiale contaminate și a excesului de PPP (inclusiv noroiul de pulverizare rezidual);

- echipamentul de protecție personală a utilizatorului de PPP;

- procedurile pentru pregătirea dispozitivelor de aplicare a PPP, inclusiv calibrarea acestora, și pentru operarea lor cu cel mai mic posibil risc pentru utilizatorii de PPP, alte persoane, specii de animale și plante non-țintă, biodiversitate și mediul înconjurător, inclusiv resursele de apă;

- utilizarea dispozitivelor de aplicare a PPP și întreținerea acestora și tehnici speciale de pulverizare (prevenirea atingerii suprafețelor non-țintă - "drift");

- măsuri urgente pentru protejarea sănătății umane, a mediului, inclusiv a resurselor de apă, în caz de vărsare accidentală și poluare, precum și în cazul fenomenelor meteorologice extreme care ar putea cauza spălarea PPP;

- gestionarea datelor privind utilizarea PPP - înregistrări ale utilizării PPP.

Traficul cu produse de protecție a plantelor (PPP) și vânzarea acestora

Sistemul de vânzare a PPP în Slovenia este reglementat în așa fel încât utilizatorii pot achiziționa PPP fără a prezenta un certificat (pentru anumite PPP, care pot fi vândute fără a prezenta un Certificat de achiziție a fitomedicamentelor, numai în magazine specializate de PPP - lista este disponibilă la http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=15&top=1; sau pentru anumite PPP care sunt vândute fără a prezenta un Certificat de achiziție a fitomedicamentelor în magazine specializate cu PPP și alte magazine cu produse exclusiv non-alimentare - lista este disponibilă la http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/FFS_sezn.asp?L=1&S=16&top=1) sau prezentând Certificatul de achiziție a cunoștințelor în fitomedicină. Distribuitorii, care sunt persoane fizice și juridice și sunt

responsabili de plasarea PPP pe piață (inclusiv angrosiștii, comercianții cu amănuntul, vânzătorii și furnizorii), se ocupă cu comerțul și vânzarea de PPP. Ei trebuie să îndeplinească cerințele privind educația și calificările profesionale ale personalului, precum și cerințele privind spațiile și echipamentele, și trebuie să obțină permisiunea de la administrație pentru a desfășura această activitate. Distribuitorii care vând PPP în florării și magazine non-alimentare trebuie, de asemenea, să îndeplinească condițiile și să obțină o autorizație de la minister.

Permisul pentru traficul de PPP este emis de administrație pe baza raportului inspectorului competent privind îndeplinirea condițiilor de spații și echipamente pentru traficul de PPP și al personalului. Administrația menține un registru al distribuitorilor de PPP. Administrația raportează datele despre traficul de PPP la Biroul de Statistică al Republicii Slovenia în scopul colectării și prelucrării datelor statistice despre traficul de PPP.

Notificarea și conștientizarea publică

Informarea și conștientizarea publicului se desfășoară sub forma implementării diverselor activități ale ministerului competent privind utilizarea sigură a PPP, problema utilizării PPP în relație cu riscul pentru albine, recunoașterea falsificării PPP, manipularea corectă a deșeurilor PPP care conțin substanțe periculoase, etc. Reglementarea care guvernează manipularea deșeurilor PPP care conțin substanțe periculoase stabilește deja obligațiile persoanelor care furnizează sau livrează PPP, ambalate pentru utilizare finală, direct la utilizatorul final, cu privire la informarea clienților despre posibilitatea livrării gratuite a deșeurilor PPP la punctul de vânzare sau în punctele de colectare a deșeurilor PPP.

Obligația de a informa utilizatorii finali revine și colectorilor de deșeuri PPP, care trebuie să informeze utilizatorii finali despre:

- scopul și obiectivele colectării deșeurilor PPP,
- manipularea corectă a acestora,
- opțiunile de difuzare gratuită,
- metodele de reutilizare și eliminarea lor.

Informarea și conștientizarea utilizatorilor sunt definite în Legea PPP în așa fel încât Ministerul adoptă un program de informare și conștientizare în legătură cu PPP, care include măsuri pentru promovarea și îmbunătățirea informațiilor și conștientizării publicului despre impactul utilizării PPP și impactul manipulării incorecte a deșeurilor PPP care conțin substanțe periculoase, asupra sănătății umane, a organismelor non-țintă și a mediului. Publicul este informat despre riscurile asociate utilizării PPP și despre efectele acute și cronice posibile ale acestor agenți asupra sănătății umane, a organismelor non-țintă și a mediului. Publicul interesat participă la pregătirea programului.

Dispozitive de aplicare a produselor de protecție a plantelor (PPP)

Inspecția regulată a aparatelor de aplicare a PPP

Inspecțiile regulate ale dispozitivelor de aplicare a PPP (tractoare sau pulverizatoare autopropulsate și tractoare sau pulverizatoare autopropulsate) sunt reglementate de trei acte (Regulament privind obținerea unui certificat de conformitate a dispozitivelor de protecție a plantelor pentru dispozitive noi, Reguli privind condițiile și procedurile care trebuie îndeplinite și implementate de organele de inspecție autorizate pentru inspecția regulată a dispozitivelor de aplicare a produselor de protecție a plantelor pentru a obține autorizații de la Ministerul Agriculturii și Pădurilor și Regulamentul privind conținutul și metoda de menținere a registrului dispozitivelor de tipuri certificate care au trecut sau nu au trecut cu succes o inspecție regulată) pe baza cărora proprietarul dispozitivului inspectat primește un autocolant de control privind funcționarea impecabilă a dispozitivului de aplicare a PPP.

Organizațiile autorizate pentru inspectarea dispozitivelor de aplicare a PPP organizează inspecții de teren ale dispozitivelor în fiecare an în luna martie și aprilie, sau înainte de începerea sezonului de

pulverizare. Pentru aplicatoarele de PPP, utilizatorul echipamentului de pulverizare trebuie să treacă un test de performanță a dispozitivului la fiecare trei ani, cu excepția echipamentelor noi (prima inspecție a dispozitivului are loc după cinci ani, iar fiecare ulterioară la fiecare trei ani).

Introducerea de tehnici îmbunătățite de aplicare a PPP

Utilizatorii de PPP trebuie să fie familiarizați cu principiile generale ale bunei practici agricole, iar înainte de a alege o zonă tratată, fiecare utilizator trebuie să evalueze posibilitatea de drift și să aplice PPP în așa fel încât produsul să nu depindă de suprafețele învecinate - "drift". Organizațiile de control nu trebuie să permită reziduurilor de PPP neautorizate în culturi, indiferent dacă acestea sunt rezultatul dependenței de PPP din mediul înconjurător sau a utilizării improprii a acestora.

Tehnicile îmbunătățite de aplicare a PPP permit o acoperire mai bună a suprafeței pulverizate și astfel o eficiență mai mare (utilizarea optimizată a PPP) și mai puțină dependență ("drift") a acestor agenți în afara zonei de aplicare în timpul pulverizării în sine. Este necesar să se obțină cât mai puțin drift direct posibil, care este rezultatul mișcării curentelor de aer în timpul pulverizării (vântul). Extinderea driftului depinde în mare măsură de dimensiunea picăturilor și de vântul care afectează traiectoria picăturilor către țintă. Utilizatorii de PPP pot influența reducerea dependenței de noroiul de pulverizare în timpul pulverizării datorită proceselor chimice și fenomenelor atmosferice post-aplicare prin decizia de a utiliza PPP (la temperaturi, umiditate și vânt adecvate).

Duzele cu reducere a driftului ("duze anti-drift") reduc semnificativ (cu 50 până la 90%) driftul PPP pe suprafețe non-țintă. Driftul poate fi, de asemenea, redus prin utilizarea de pulverizatoare potrivite, unde driftul PPP poate fi redus cu 75 până la 90% cu utilizarea duzelor de reducere a driftului, utilizarea de bariere de aer, luând în considerare condițiile ecologice și meteorologice în timpul aplicării și diferite tehnici de aplicare a PPP.

Bibliografie

- https://www.gov.si/teme/trajnostna-raba-fitofarmacevtskih-sredstev/

- Actul referitor la fitofarmaceutice: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6355

- Ordinul care interzice circulația și utilizarea anumitor produse fitofarmaceutice pe teritoriul Republicii Slovenia: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ODRE2109

- Regulament privind protecția integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11530

- Regulile privind utilizarea corectă a fitofarmaceuticelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11541

- Regulament privind condițiile de comerț cu produse de protecție a plantelor și privind gestionarea și transmiterea datelor privind vânzarea produselor de protecție a plantelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11540

- Regulamente privind formarea în produsele de protecție a plantelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11537

Îmbunătățirea cunoașterii și disponibilității de a adapta și utiliza tehnicile de protecție integrată a plantelor

Intensificarea utilizării pesticidelor în producția agricolă reprezintă o amenințare la adresa sănătății umane și a mediului. Protecția Integrată a Plantelor (PIP) este propusă ca alternativă la practicile convenționale de gestionare a dăunătorilor. Implementarea PIP se confruntă însă cu mai multe provocări, în special în țările în curs de dezvoltare. Provocările în implementarea programelor de PIP și adoptarea practicilor PIP sunt strâns legate de factorii politici, sociali și psihologici, metodele de extindere, precum și de formare și cunoștințe. Bunăvoința guvernamentală în ceea ce privește sprijinul politic pentru gestionarea alternativă a dăunătorilor este crucială. Până când nu se vor stabili politici clare, va fi imposibil să se promoveze utilizarea PIP. Noile tehnologii și practici se confruntă cu rezistență din partea părților interesate, în special a fermierilor, iar implementarea practicilor PIP necesită o considerație atentă a barierelor psihologice și sociale. Implementarea PIP se confruntă și cu limitări în ceea ce privește formarea și cunoștințele, care sunt deținute în cea mai mare parte de fermieri și consilieri. Provocările în implementarea PIP influențează organizațiile să-și mărească rolul în educarea fermierilor cu privire la practicile noi. Cu toate acestea, organizațiile de consultanță nu pot lucra singure pentru a aborda provocările cu care se confruntă PIP și au nevoie de sprijinul altor părți interesate.

Transferul de cunoștințe și inovare

Doar transferul eficient de cunoștințe și inovații poate permite dezvoltarea ulterioară de succes a agriculturii, silviculturii și industriei alimentare din Slovenia. Acestea includ competențe precum: tehnologia producției și prelucrării, serviciile, cunoștințele în domeniul protecției mediului, până la cunoștințe în domeniul antreprenoriatului și introducerea de activități non-agricole inovatoare în ferme. În fruntea transferului de cunoștințe și inovații se află utilizatorul (de exemplu, un agricultor sau proprietar de pădure), care trebuie să beneficieze de sprijinul instituțiilor (de exemplu, servicii publice de consultanță agricolă, facultăți etc.) care sunt capabile să răspundă la întrebările sale legate de dezvoltare.

Activitățile de transfer de cunoștințe și informații iau forma sprijinului pentru activitățile de formare profesională și dobândire a competențelor: sprijinul este destinat implementării de cursuri, ateliere, prelegeri, demonstrații practice sau alte activități de transfer de cunoștințe. Sprijinul pentru activitățile de demonstrație și măsuri de informare este destinat instruirii practice a persoanelor active în sectoarele agricol, forestier și alimentar, bazată pe demonstrarea utilizării mecanizării, procedurilor, tehnologiilor, mașinilor și practicilor.

Transferul de cunoștințe și activități de informare

Suport pentru activități de formare profesională și dobândire de cunoștințe

Suportul este destinat implementării cursurilor, workshopurilor, prelegerilor, demonstrațiilor practice sau altor activități de transfer de cunoștințe. Acestea permit dobândirea de cunoștințe teoretice și practice suplimentare pentru persoanele active în sectoarele agricol, forestier și alimentar (de exemplu fermieri, fermieri organici, proprietari de păduri). Participarea la cursuri este gratuită pentru participanți. Cursurile, workshopurile, prelegerile, demonstrațiile practice sau alte activități similare de transfer de cunoștințe sunt desfășurate de către persoane calificate în mod corespunzător pentru aceasta. Această măsură este destinată formării necesară la începutul sau în timpul implementării obligațiilor Măsurilor de Plăți Agricole-Mediu-Climă (KOPOP), Agricultură Ecologică (EK) și Bunăstare Animală (DŽ). Suportul este de asemenea destinat formării în multe alte domenii care sunt importante pentru grupurile țintă, de exemplu marketing, management, lucru în siguranță în pădure, abilități

digitale, prelucrare și altele. Formarea poate include o parte teoretică și practică. Un grup țintă special sunt tinerii fermieri.

Suport pentru activități demonstrative și măsuri de informare

Suportul este destinat trainingului practic pentru persoanele active în sectoarele agricol, forestier și alimentar, bazat pe demonstrația utilizării mecanizării, procedurilor, tehnologiilor, mașinilor și practicilor. Acesta permite dobândirea de cunoștințe teoretice și practice suplimentare pentru persoanele active în sectoarele agricol, forestier și alimentar (de exemplu, fermieri, fermieri organici, proprietari de păduri). Participarea la traininguri este gratuită pentru participanți. Demonstațiile sunt efectuate de persoane calificate să desfășoare astfel de proiecte. Grupul țintă este reprezentat de persoanele active în sectoarele agricol, alimentar și forestier. Această măsură vizează trainingul practic bazat pe demonstrația utilizării mecanizării, procedurilor, tehnologiilor, mașinilor și practicilor. Conținutul acestor proiecte, cu demonstrații practice, contribuie la un nivel mai ridicat de cunoștințe, în special în domeniile tehnologic, economic și de mediu.

Servicii de consultanță, servicii de asistență a managementului fermei și servicii de înlocuire

Asistență pentru utilizarea serviciilor de consiliere

Suportul este destinat implementării consilierii în exploatațiile agricole. Scopul acestui sprijin este de a îmbunătăți cunoștințele și informațiile specifice ale persoanelor care doresc sau care au deja aderat la măsurile KOPOP, EK și DŽ. Beneficiarii acestui sprijin sunt persoanele de drept public sau privat care furnizează servicii de consiliere pentru exploatațiile agricole și sunt corespunzător calificate pentru acest lucru. Consilierea este gratuită pentru participant.

Măsura "Sprijin pentru asistență în utilizarea serviciilor de consiliere" este destinată implementării consilierii pentru conținut, fiind o condiție sau cerință pentru măsurile EC, KOPOP și DŽ. În cadrul acestui cadru, consilierea individuală este susținută pentru:

- elaborarea unui program de protecție a animalelor, care este una dintre condițiile necesare pentru intrarea în măsura DŽ;

- elaborarea unui program de activitate, care este una dintre condițiile necesare pentru intrarea în măsurile KOPOP și EK;

- elaborarea unui plan individual pentru conversia exploatațiilor agricole de la agricultură convențională la agricultură ecologică, care este obligatoriu pentru exploatațiile agricole care intră pentru prima dată în măsura EC;

- implementarea consilierii individuale obligatorii pentru beneficiarii incluși în măsurile EC și KOPOP, cel puțin o dată pe durata obligației.

Cooperare

Scopul măsurii "cooperare" este de a accelera transferul de cunoștințe și inovații din sfera cercetării în practica agricolă. Măsura este implementată prin:

- sprijin pentru proiecte pilot și dezvoltarea de noi produse, practici, procese și tehnologii;

- sprijin pentru cooperare orizontală și verticală între participanții din lanțul de aprovizionare pentru înființarea și dezvoltarea lanțurilor scurte de aprovizionare și a piețelor locale și pentru activități promoționale la nivel local legate de dezvoltarea lanțurilor scurte de aprovizionare și a piețelor locale;

- sprijin pentru acțiuni comune pentru atenuarea sau adaptarea la schimbările climatice și pentru abordări comune în proiecte de mediu și practici de mediu durabile;

- sprijin pentru diversificarea activităților agricole în activități legate de îngrijirea sănătății, incluziunea socială, agricultura susținută de comunitate și educația în domeniul mediului și alimentației.

Măsura sprijină diverse forme de cooperare, care vor permite actorilor din zonele rurale să depășească mai ușor limitările economice, de mediu și altele cu care se confruntă din cauza fragmentării și dezangajării. Măsura va viza în special promovarea proiectelor de cooperare, care își propun să atingă o productivitate mai mare și, în același timp, o sustenabilitate mai mare în domeniul agriculturii. În cadrul acestei măsuri, se va pune un accent deosebit pe promovarea dezvoltării tehnologice și reducerea impactului negativ al agriculturii asupra mediului, în special în domeniul biodiversității și calității apei de suprafață și subterană.

Dezvoltarea de noi produse, practici, procese și tehnologii

Sprijinul este destinat accelerării transferului de cunoștințe și inovații din sfera cercetării în practica agricolă prin diverse forme de cooperare și integrare. Scopul sprijinului este de a stabili cooperarea între diferiți actori din domeniul agriculturii, industriei alimentare sau silviculturii în implementarea proiectelor în domeniul dezvoltării tehnologice și introducerii inovațiilor în agricultură, silvicultură sau industria alimentară, care vor contribui la realizarea obiectivelor stabilite ale dezvoltării rurale. Sprijinul este destinat pentru:

- dezvoltarea de produse noi sau îmbunătățite, practici, procese sau tehnologii în domeniul agriculturii, alimentației sau silviculturii,

- transferul de cunoștințe în practică și

- diseminarea rezultatelor proiectului.

În cadrul acestui sprijin, vor fi susținute proiecte pilot și proiecte EIP, care vor rezulta în noi realizări și soluții, precum și abordări inovatoare în domeniul dezvoltării tehnologice în agricultură, silvicultură sau industria alimentară. Pentru implementarea proiectului pilot, trebuie să fie stabilit un parteneriat între cel puțin 2 membri (ferme agricole, consultanți sau cercetători sau o instituție educațională putând fi, de asemenea, incluse persoanele fizice înregistrate în registrul cercetătorilor privați), alte ferme agricole, entități juridice, întreprinzători individuali sau persoane fizice autorizate. Pentru implementarea proiectului EIP, trebuie să fie stabilit un parteneriat între cel puțin 3 membri (ferme agricole, consultanți și cercetători), alte ferme agricole, entități juridice, putând fi incluși și întreprinzători individuali sau persoane fizice autorizate.

Mediu și schimbările climatice

Scopul acestui sprijin este de a stabili cooperarea între diferiți actori din domeniul agriculturii, silviculturii, protecției mediului, conservării naturii sau protecției apei în implementarea proiectelor în domeniul mediului și schimbărilor climatice, care vor contribui la realizarea obiectivelor de dezvoltare rurală.

Sprijinul este destinat pentru:

a) dezvoltarea și căutarea de soluții, referitor la:

- reducerea impacturilor negative ale agriculturii sau silviculturii asupra mediului,

- implementarea unor abordări comune în domeniul agriculturii sau silviculturii pentru protecția diversității biotice,

- implementarea unei producții agricole ecologice eficiente în protecția apelor și a altor zone protejate,

- reducerea, atenuarea sau adaptarea la schimbările climatice în agricultură sau silvicultură.

b) transferul cunoștințelor în practică și

c) diseminarea rezultatelor proiectului.

În momentul implementării proiectelor în domeniul mediului și schimbărilor climatice, prioritatea va fi acordată proiectelor care vor contribui la realizarea obiectivelor de conservare a mediului și naturii, în special la instruirea și îmbunătățirea stării speciilor și tipurilor de habitate NATURA 2000, precum și la îngrijirea și gestionarea eficientă a valorilor naturale, precum și proiectelor care vor contribui la reducerea impacturilor negative ale agriculturii asupra calității apelor de suprafață și subterane.

Pentru implementarea proiectului pilot, trebuie să se stabilească un parteneriat a cel puțin 2 membri (exploatații agricole, consultanți sau cercetători sau o instituție educațională sau o persoană înregistrată în registrul cercetătorilor privați); alte exploatații agricole, persoane juridice, întreprinzători individuali sau persoane autorizate în mod independent pot de asemenea să se alăture.

Pentru implementarea proiectului EIP, trebuie să se stabilească un parteneriat de cel puțin 3 membri (exploatații agricole, consultanți și cercetători); alte exploatații agricole, persoane juridice, întreprinzători individuali sau persoane care sunt autorizate în mod independent pot de asemenea să se alăture.

Grija pentru mediu și adaptarea la schimbările climatice

Cea mai mare provocare pentru fermieri este cum să-și mențină și să-și crească productivitatea pe propria fermă, în timp ce au grijă de mediu (apă, sol, aer, biodiversitate) și se adaptează cu succes la schimbările climatice (secetă, inundații, grindină, îngheț, vânt, gheață).

Sprijinul pentru investiții în exploatațiile agricole este destinat, printre altele, investițiilor în sisteme de irigații private destinate unui singur utilizator și achiziția de echipamente de irigații (care pot fi destinate sistemelor de irigații pentru unul sau mai mulți utilizatori), achiziționarea și instalarea de plase împotriva grindinei, achiziționarea și instalarea de sere, investiții în creșterea eficienței ambientale, a rezistenței și adaptării la schimbările climatice, reglementarea ulterioară a plantațiilor permanente din punct de vedere al introducerii de soiuri mai comercializabile și îmbunătățirea tehnologiei de producție, cu scopul de a restabili plantațiile permanente ale exploatațiilor agricole care au fost deteriorate în catastrofe naturale sau fenomene excepționale din ultimii ani (îngheț, secetă, grindină).

Sprijinul pentru investiții în infrastructura legată de dezvoltarea, modernizarea sau adaptarea agriculturii și silviculturii este destinat construcției de sisteme de irigații și modernizării tehnologice a sistemelor de irigații destinate mai multor utilizatori.

Sprijinul pentru investiții pentru prevenirea eroziunii eoliene pe terenurile agricole este destinat stabilirii de sisteme de apărare împotriva vântului ca măsură de prevenire și adaptare la schimbările climatice (reducerea consecințelor eroziunii eoliene) și ca măsură de consolidare a biodiversității.

Măsura "Plăți agricole-mediu-climatice" este o măsură KOPOP care încurajează practicile agricole deasupra standardului ”so-natural” care vizează conservarea biodiversității și peisajului, gestionarea corectă a apei și a solului, atenuarea și adaptarea agriculturii la schimbările climatice.

Măsura "Agricultură ecologică" sprijină implementarea agriculturii ecologice și conversia la agricultura ecologică.

Măsura "Plăți pentru zone cu limitări naturale sau speciale" este alocată în scopul de a păstra și continua activitatea agricolă în zonele cu limitări naturale sau speciale (OMD), unde costurile agricole și pierderea de venituri sunt mai mari în comparație cu agricultura în afara OMD.

Sub-măsura "Mediu și schimbări climatice" urmărește obiectivele de reducere a impacturilor negative ale agriculturii sau silviculturii asupra mediului, implementarea unor abordări comune în domeniul

agriculturii sau silviculturii pentru protecția biodiversității, implementarea unei producții agricole ecologice eficiente în conservarea apei și a zonelor protejate, reducerea, atenuarea sau adaptarea la schimbările climatice în agricultură sau silvicultură.

Adaptarea la schimbările climatice

Datorită încălzirii globale, agricultura se confruntă din ce în ce mai des cu fenomene meteorologice extreme precum furtuni cu grindină, secetă, stres termic și îngheț. Toate acestea se reflectă în cantitatea și calitatea recoltelor și în stabilitatea producției. Unul dintre principalele succese în gestionarea consecințelor schimbărilor climatice este adaptarea. Scopul adaptării este de a reduce riscurile și daunele aduse mediului și sănătății umane într-un mod rentabil.

Adaptarea la schimbările climatice în producția vegetală și creșterea animalelor este posibilă prin implementarea următoarelor măsuri:

- alegerea corectă a tehnologiilor de producție și a soiurilor;

- selectarea potrivită a datei de semănat, plantarea culturilor mai puțin sensibile (de exemplu, o parte din silozul de porumb este înlocuit cu sorgul furajer, plantarea de substraturi potrivite pentru răsadurile plantelor perene);

- soi modificat;

- introducerea sistemelor de irigații;

- diversificarea producției;

- fertilizare corectă.

La Agenția de Mediu, se poate monitoriza și situația din producția agricolă ca rezultat al condițiilor meteorologice. ARSO publică în mod regulat date actuale despre schimbările în condițiile meteorologice din Slovenia, iar datele privind prognozele agrometeorologice și notificările prognosticate pot fi de asemenea accesate pe Portalul Agrometeorologic al Sloveniei.

Serviciul public de consultanță agricolă, care activează în cadrul Camerei Agriculturii și Silviculturii din Slovenia, ajută fermierii cu:

- pregătirea instrucțiunilor tehnologice;

- consultarea cu privire la modul de atenuare a efectelor schimbărilor climatice și a evenimentelor meteorologice intense;

- familiarizarea cu schimbările climatice așteptate, precum și cu necesitatea adaptării la aceste schimbări și cu posibilitățile de atenuare a consecințelor;

- monitorizarea stării suprafețelor agricole;

- pregătirea primei evaluări aproximative a stării culturilor agricole din câmp în cazul unor condiții meteorologice adverse majore și pregătirea unui raport despre starea acestora;

- informează Ministerul și Administrația pentru Protecție și Salvare despre situația de pe teren și tratează fermele afectate în mod individual.

Măsuri de adaptare la schimbările climatice

Măsurile de adaptare la schimbările climatice sunt încurajate și sunt cofinanțate prin Programul de Dezvoltare Rurală sau în cadrul altor programe, proiecte sau lucrări și sarcini regulate efectuate de serviciile publice în domeniul agriculturii. Cele mai importante măsuri pentru adaptarea producției agricole la schimbările climatice sunt:

- cofinanțarea primelor de asigurare;

- protecția aeriană împotriva grindinei;

- implementarea măsurilor privind investițiile în sistemele de irigații și irigare, investiții în rețele anti-alunecare și zone protejate, măsuri agro-medio-climatice precum rotația culturilor și lucrările de conservare a solului, tehnologii de producție și creșterea animalelor și conștientizarea, instruirea și informarea fermierilor.

Atenuarea efectelor schimbărilor climatice în agricultură

Schimbările climatice au loc deja, și anume creșterea temperaturilor, schimbarea modelelor de precipitații, topirea ghețarilor și a zăpezii, creșterea nivelului mărilor, și, ca rezultat, apar tot mai multe fenomene meteorologice extreme. Încălzirea este cel mai probabil cauzată de creșterea concentrației de gaze cu efect de seră în atmosferă, care este rezultatul emisiilor datorate activităților umane. Dacă vrem să atenuăm schimbările climatice, trebuie să reducem sau chiar să prevenim aceste emisii în domeniul agriculturii cu măsuri rapide și eficiente. Măsurile pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în agricultură contribuie direct la o mai bună competitivitate a industriei.

Măsuri pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în agricultură

Cele mai importante măsuri pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră sunt:

- plățile agro-medio-climatice,

- agricultura ecologică,

- transferul de cunoștințe,

- asistența în utilizarea serviciilor de consiliere,

- cooperare,

- introducerea metodelor de creștere care reduc emisiile de gaze cu efect de seră,

- măsuri pentru o circulație mai eficientă a azotului în agricultură,

- funcționarea serviciului public de consultanță agricolă.

Promovarea de strategii avansate pentru protecția integrată a plantelor

Implementarea practicilor integrate de gestionare a dăunătorilor, bolilor plantelor și buruienilor poate fi o provocare semnificativă pentru fermieri și consultanți. Sistemele de asistență în luarea deciziilor (DSS) pot ajuta în luarea deciziilor pe teren (IPM). Sistemele de asistență în luarea deciziilor (DSS) reprezintă o resursă importantă pentru avansarea protecției integrate a plantelor. SPO ajută cultivatorii și consilierii lor să îmbunătățească deciziile pe baza informațiilor despre riscurile potențiale pentru culturi. Majoritatea sistemelor, în special cele tactice și operaționale, sunt intrinsec legate de monitorizarea culturilor, deoarece datele observaționale sunt de obicei necesare pentru a rula modelul, iar rezultatele necesită adesea o monitorizare mai specifică pentru a defini rezultatul final. Monitorizarea este deja o parte cheie a managementului integrat pentru protecția plantelor, dar este consumatoare de timp și poate fi costisitoare. SPO permite utilizatorilor să se concentreze pe monitorizarea culturilor sau a părților de cultură cele mai vulnerabile și în care o protecție eficientă ar avea beneficii economice. Un astfel de SPO oferă utilizatorilor încrederea de a ști dacă este necesară monitorizarea țintită a culturilor și informații despre modul de realizare a acesteia. Acest proces de luare a deciziilor în două etape permite utilizarea tuturor tehnicilor managementului integrat pentru protecția plantelor, fie preventive, fie curative. Dezvoltarea avansată a SPO pentru managementul integrat al protecției plantelor de obicei ia forma unor sisteme noi specifice pentru dăunători, astfel încât utilizarea lor poate fi limitată în funcție de regiune și/sau acces la resurse (de exemplu, date climatice). În cadrul proiectului Decizii IPM (H2020 Nr. 817617), cercetătorii dezvoltă o platformă online care permite accesul extins la sistemele actuale și viitoare la nivel multinațional. Platforma "Decizii IPM" oferă sprijin în luarea deciziilor pentru protecția integrată a plantelor. Este un cadru bazat pe tehnologii web care permite fermierilor, consilierilor și cercetătorilor să acceseze o gamă largă de sisteme de asistență în luarea deciziilor și date meteorologice din întreaga Europă printr-un set de patru panouri de control. Platforma permite evaluarea fiabilității și adecvării diferitelor sisteme de asistență în luarea deciziilor, astfel încât aceștia să le poată alege pe cele care se potrivesc cel mai bine nevoilor lor.

Scopul proiectului "IPMworks - Wide IPM Farm Demo Network" este de a construi o rețea de fermieri din întreaga UE pentru a demonstra și promova adoptarea strategiilor IPM prin partajarea cunoștințelor și învățarea mutuală. În prezent, agricultura europeană depinde în mare măsură de utilizarea produselor de protecție a plantelor (FFS). În majoritatea fermelor europene, protecția culturilor împotriva organismelor dăunătoare (insecte, boli, buruieni și altele) în scopul evitării pierderilor de recoltă depinde în principal (și uneori exclusiv) de utilizarea FFS. Un astfel de nivel ridicat de utilizare a FFS a condus la o îngrijorare crescută cu privire la impactul lor asupra mediului și sănătății umane. În plus, acestea pot cauza și probleme pe termen lung pentru fermieri, deoarece utilizarea repetată a FFS cu același mod de acțiune duce adesea la o eficacitate redusă datorită dezvoltării rezistenței. Conform Pactului Ecologic European, mai exact a strategiei de la fermă la masă, UE intenționează să reducă utilizarea FFS cu 50% până în 2030. Acesta este evident un obiectiv foarte ambițios care va fi extrem de dificil de atins. În același timp și în conformitate cu Directiva 2009/128/CE privind utilizarea durabilă a FFS (SUD), statele membre ale UE au formulat planuri de acțiune naționale (PAN) menite să reducă dependența de utilizarea FFS. În următorii ani, deci, reducerea utilizării FFS va fi o prioritate majoră pentru politica agricolă din întreaga Europă, iar fermierii vor trebui să fie în fruntea acestei transformări. Fermierii din întreaga Europă testează și implementează deja cu succes strategii avansate de IPM mai puțin dependente de FFS. Provocarea pentru agricultura europeană este de a extinde acest grup și de a promova adoptarea mai largă a strategiilor avansate de IPM. Proiectul IPMWORKS își propune să atingă acest obiectiv prin împărtășirea "poveștilor de succes", organizarea de activități de comunicare a cunoștințelor între colegi, promovarea demonstrațiilor la fermă și

formarea fermierilor și a consilierilor în domeniul IPM. În trecut, aceste activități s-au dovedit a fi instrumente excelente pentru diseminarea informațiilor.

IPMWORKS va coordona rețelele existente care deja promovează strategiile avansate de IPM în domeniul agricol și va stabili, de asemenea, noi centre agricole în regiuni sau sectoare în care pionierii IPM nu sunt încă implicați într-o rețea relevantă. Proiectul va implica fermieri, consilieri, factori de decizie politici, consumatori și alți actori-cheie din Europa pentru a demonstra că strategiile bazate pe IPM adoptate în ferme reale din diferite sisteme de producție reduc dependența de produsele de protecție a plantelor și reduc expunerea oamenilor. Proiectul va demonstra că IPM poate menține sau îmbunătăți profitabilitatea economică într-o fermă și poate reduce impactul agriculturii asupra mediului. Demonstrarea că "IPM funcționează" va avea loc atât la nivel de fermă - cu diferite condiții de producție, opțiuni de IPM și instrumente de comunicare - cât și la nivel regional, național și al UE. IPMWORKS va lucra cu fermieri, consultanți și alți actori inovatori și se va concentra pe inițiative care vor realiza oferta europeană verde și strategia agricolă.

Noi tehnologii și digitalizarea în agricultură

Sistemul de digitalizare este introdus treptat în diferite domenii. În ultimii ani, tehnologia modernă a informației și comunicațiilor (ICT), cum ar fi echipamentele de măsurare de precizie, senzorii, sondele, sistemele de poziționare geografică, dronele, robotica, precum și Big Data (baze de date mari), Internetul, au fost utilizate tot mai mult în domeniul agriculturii. "Agricultura inteligentă" are un potențial mare de a contribui la realizarea unor producții agricole mai mari și mai durabile, deoarece se bazează pe o abordare mai precisă și mai eficientă decât cea clasică. Cea mai importantă motivare pentru introducerea digitalizării este economică, dar aceasta este introdusă și din alte necesități. Poate aduce beneficii considerabile în ceea ce privește problemele de mediu, cum ar fi utilizarea mai eficientă a apei, reducerea utilizării îngrășămintelor și pesticidelor, consum redus de combustibil, optimizarea procesării, și altele.

Exploatațiilor agricole le sunt furnizate date grafice privind parcelele agricole și utilizarea terenurilor, pe care le pot folosi pentru a ghida utilajele agricole pe baza sistemului global de poziționare GNSS, sau pentru a planifica plantarea și rotația culturilor. Unele ferme folosesc și supravegherea aeriană - analiza imaginilor satelitare sau a imaginilor obținute cu drone mai mici - pentru a identifica mai rapid semnele bolilor plantelor, deficiențele de nutrienți sau lipsa apei la plante. Fermele pot folosi, de asemenea, date precise privind vremea locală pentru scopuri de irigare, pentru reducerea consumului de apă în agricultură și a proteja în mod oportun culturile împotriva dăunătorilor și bolilor. Prin acțiuni prompte, se pot reduce sau chiar elimina consecințele secetei. Digitalizarea eficientă în agricultură necesită înregistrări digitale de bază ale suprafeței, o rețea bine dezvoltată de stații agrometeorologice, un serviciu public eficient de sănătate a plantelor care, cu ajutorul diferitelor modele și monitorizare directă, prezice dezvoltarea bolilor și dăunătorilor și oferă sfaturi privind cea mai potrivită strategie de protecție a plantelor. Senzorii îndepărtați (imagini satelitare și fotografii aeriene cu drone) reprezintă una dintre abordările centrale pentru captarea datelor privind starea culturilor. Gama de utilaje agricole care pot înregistra și/sau utiliza date pentru implementarea agriculturii de precizie (combine, distribuitoare de îngrășăminte minerale, pulverizatoare, semănătoare) este în creștere treptată și acest lucru permite o introducere mai rapidă a digitalizării în agricultură.

Aplicarea sistemelor de protecție a plantelor controlate la distanță

Metodele de control al bolilor plantelor și dăunătorilor presupun distribuția uniformă a acestora în cultură sau în plantație, dar în practică aceștia sunt adesea distribuiți inegal. Unii dăunători și unele boli apar mai întâi local și se răspândesc ulterior într-o parte mai mare a plantației sau câmpului. În practică, protecția eficientă a plantelor este legată de monitorizarea cea mai actuală și în timp util a

semnelor vizibile ale apariției bolilor și dăunătorilor, ceea ce necesită inspecții regulate ale plantelor. Această monitorizare sau inspecție este consumatoare de timp și costisitoare, iar eficacitatea suprimării este legată de experiența inspectorului și de promptitudinea recunoașterii primelor semne ale fenomenului. Metodele de teledetecție fac posibilă detectarea prezenței bolilor sau dăunătorilor pe suprafețe mai mari și în diferite etape ale fenomenului. În teledetecție, se folosesc diferiți senzori, care sunt montați pe suporturi diferite oferind precizie temporală și spațială.

Cele mai comune grupuri de senzori sunt: senzori RGB, hiperspectrali, multispectrali, termici și de fluorescență. Deși detectarea bolilor și dăunătorilor este posibilă cu senzori din toate cele cinci grupuri, alegerea senzorului depinde de platformă (solarii, drone, satelit) și de precizia dorită. Senzorii RGB permit determinarea prezenței agenților patogeni care cauzează modificări în frunze, dar utilitatea lor pentru determinarea infecțiilor înainte de dezvoltarea simptomelor vizibile este limitată. Aceasta din urmă este posibilă cu ajutorul senzorilor multispectrali, hiperpectrali și termici. Aceste patru grupuri de senzori pot fi folosiți și la distanțe mai mari (de exemplu, pe un avion), cu iluminare naturală. Senzorii de fluorescență permit detectarea precisă a bolilor și sunt, prin urmare, potriviți pentru utilizare în zone limitate, cum ar fi solariile și laboratoarele.



Figura 1: Senzori pentru teledetecție în agricultură.

Suporturi pentru senzori utilizați în agricultură



Figura 2: Purtători de senzori (platforme) pentru teledetecție în agricultură.

Cele mai comune suporturi ale senzorilor de teledetecție utilizați în agricultură sunt sateliții, vehiculele aeriene fără pilot ("drone"), avioanele, terenul, laboratoarele și solariile. Datorită distribuției spațiale eterogene a dăunătorilor și bolilor, teledetecția cu senzori optici este cea mai potrivită tehnologie pentru furnizarea informațiilor despre focarele și extinderea infecțiilor. Metodele avansate de analiză a datelor sunt esențiale pentru utilizarea eficientă a datelor de teledetecție pentru detectarea dăunătorilor și bolilor plantelor.

Agricultura de precizie și digitalizarea în agricultură

Pentru a obține cea mai bună utilizare a practicilor de agricultură de precizie, avem nevoie de mașini și echipamente potrivite, care sunt susținute tehnic pentru a ne permite să le folosim. Mașinile inteligente (distribuitor de îngrășăminte minerale, semănător, pulverizator, combina de cereale, combina de siloz) diferă de mașinile clasice prin funcționalități suplimentare, cum ar fi "Controlul secțiunii", care comută automat "secțiunile" pornite și oprite și astfel previne suprapunerile la trecerile în câmp și pentru viraje laterale, asigură distanțe uniforme între culturi și condiții de creștere similare, în special la marginea câmpului, și "Controlul ratei variabile" care ne permite să fertilizăm și să pulverizăm exact unde și exact cât este necesar. Toate mașinile au nevoie de o conexiune la un computer care să le poată controla, dar sunt de obicei conectate printr-un controler ISOBUS, care este de obicei situat pe tractor și conține datele necesare pentru a controla hărțile de îngrășăminte și de pulverizare. Mașinile sunt controlate prin intermediul controlerului ISOBUS. Pentru o funcționare de succes avem nevoie, de asemenea, de informații despre locația exactă, informații care pot fi obținute din diferite sisteme de localizare, unul dintre cele mai cunoscute fiind sistemul GPS, cu ajutorul căruia obținem o precizie de 3 până la 4 metri, suficientă pentru a aplica îngrășăminte artificiale. O precizie mai mare este necesară pentru pulverizare și semănare, aceasta putând fi obținută prin RTK și oferind o precizie de până la 1 cm. Pentru a determina cât de mult să dozăm ceva într-o anumită zonă, avem nevoie mai întâi de date despre cerințele și starea câmpului. Datele necesare pot fi obținute cu o dronă sau satelit, care, cu ajutorul senzorilor multispectrali, detectează starea plantelor și pot produce indici speciali de vegetație, care ne arată condițiile depresive și sănătoase ale parcelei. Deoarece nu putem determina cauza exactă pe baza imaginii în sine, este necesar să mergem pe teren și să determinăm cauzele și să ajustăm măsurile ulterioare pe baza constatărilor.

Datele și informațiile despre sol și mediu pot fi accesate printr-un browser web GIS dedicat. Conținutul datelor și informațiilor se schimbă dinamic. În acest moment, sunt disponibile date publice interpretate și actualizate ale Hărții pedologice a Sloveniei 1:25.000, unele hărți pedologice cu o scară mai precisă, profiluri pedologice și unele date din proiectele de cercetare despre solurile KIS. În plus, accesul la diverse informații în format raster este activat, ceea ce este important pentru ghidarea producției agricole durabile, pentru protejarea mediului și a resurselor naturale.

Prezicerea irigației culturilor folosind teledetecția

Creșterea si dezvoltarea corectă a plantelor depinde de o cantitate adecvată de apă. Nivelul scăzut al producției agricole este, printre altele, o consecință a productivității reduse și utilizarea deficitară a apei. Atunci când decidem să irigăm, este important să nu irigăm prea mult sau prea puțin și să facem irigarea în perioada corectă.

Consecințele irigării neprofesionale au un impact negativ asupra:

- stării de sănătate a plantelor, care duce la extinderea bolilor plantelor și necesită un consum mai mare de fonduri pentru protecția plantelor,

- recoltei,

- calității și durabilității recoltei,

- valoarea de piață a recoltei și, implicit, competitivitatea producției,

- absorbția redusă a nutrienților în plantă și creșterea posibilității de spălare a nutrienților din zona rădăcinii,

- eficacitatea și degradarea agenților de protecție a plantelor, crescând șansele de spălare a acestora din sol,

- eficiența utilizării apei și sustenabilitatea economică și ambientală a producției agricole, deoarece cauzează consum excesiv de apă pentru irigare.

Teledetecția dăunătorilor

În ultimii ani, a început să fie utilizată și abordarea așa-numitei "detecția la distanță a organismelor dăunătoare" - capcane electronice - în domeniul monitorizării organismelor dăunătoare. Cu ajutorul capcanelor electronice Trapview, este posibil să se monitorizeze de la distanță apariția dăunătorilor din ordinul *Lepidoptera*, desigur, pentru acele specii pentru care există un feromon. Dispozitivul este compus dintr-un panou solar, o carcasă exterioară și un interior care conține partea electronică pentru capturarea imaginii și transmiterea datelor, precum și o placă lipicioasă cu feromon adăugat de utilizator. Dispozitivul transmite date (o imagine a plăcii lipicioase cu capturi) prin protocolul GPRS către serverul producătorului, ceea ce permite utilizatorului să vizualizeze capturile prin intermediul unei aplicații web sau mobile. Introducerea acestor noi tehnologii în serviciul de prognoză permite raționalizarea procedurilor, deoarece utilizarea actuală a momelelor de feromoni necesită inspecții vizuale pe teren și, astfel, costurile materiale cresc. Dispozitivul este echipat cu o cameră video de înaltă rezoluție, iar datele sunt transmise prin rețeaua mobilă, astfel încât este posibil să se monitorizeze capturile în aplicația de pe telefonul mobil sau computer. Imaginile fluturilor capturați pot fi monitorizate prin aplicația Trapview, care permite, de asemenea, utilizatorului să vizualizeze imagini recente și istorice pe tot parcursul sezonului.



Figura 3: Capcană electronică Trapview pentru monitorizarea gândacului porumbului.

Reducerea utilizării pesticidelor în producția agricolă

Reducerea utilizării produselor fitosanitare în Slovenia se bazează pe respectarea cerințelor Legii privind produsele fitosanitare (ZFfS-1 - Monitorul Oficial al RS, Nr. 83/12 și 35/23), Regulament privind formarea în domeniul produselor de protecție a plantelor (Monitorul Oficial al RS, Nr. 85/13), Regulament privind condițiile de comerț cu produse de protecție a plantelor și privind managementul și transmiterea datelor referitoare la comerțul cu produse de protecție a plantelor (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, nr. 107/13 și 30/18), Regulament privind cerințele referitoare la funcționarea corectă a dispozitivelor pentru aplicarea produselor de protecție a plantelor și privind condițiile și modalitatea de efectuare a inspecțiilor acestora (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, Nr. 36/19), Regulile privind utilizarea corectă a produselor fitosanitare (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, Nr. 71/14, 28/18, 56/22 și 155/22), Regulile privind protecția integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, Nr. 43/14), Ordinul privind interzicerea circulației și utilizării anumitor produse fitosanitare pe teritoriul Republicii Slovenia (Monitorul Oficial al Republicii Slovenia, Nr. 31/11 și 83/12 – ZFfS-1), Regulamentele (CE) nr. 1107/2009 al Parlamentului European și al Consiliului din 21 octombrie 2009 privind punerea pe piață a produselor de protecție a plantelor și de abrogare a Directivelor Consiliului 79/117/CEE și 91/414/CEE (2009/1107), Directiva 2009/128/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 21 octombrie 2009 de stabilire a unui cadru pentru măsurile comunitare destinate realizării utilizării durabile a pesticidelor (Textul se aplică SEE) Textul se aplică SEE. (2009/128) și Directiva Comisiei (UE) 2019/782 din 15 mai 2019 de modificare a Directivei 2009/128/CE a Parlamentului European și a Consiliului privind stabilirea indicatorilor de risc armonizați (Textul se aplică SEE) (2019/782).

În ceea ce privește reducerea utilizării produselor de protecție a plantelor (PPP), diverse metode nechimice de protecție a plantelor sunt utilizate în primul rând pentru controlul direct al organismelor dăunătoare în protecția integrată a plantelor, care limitează populațiile de organisme dăunătoare sub pragul de daună și au prioritate față de suprimarea chimică (utilizarea PPP). Aceste metode sunt denumite și metode de protecție cu risc redus a plantelor și includ măsuri fizice, biotehnologice și biotice. Metodele de protecție a plantelor nechimice includ și utilizarea "PPP cu risc redus" bazate pe microorganisme, extracte vegetale și feromoni, alte substanțe cu risc redus și utilizarea substanțelor de bază.

Reducerea utilizării PPP pe terenurile agricole și non-agricole este posibilă prin utilizarea metodelor nechimice de protecție (control mecanic al organismelor dăunătoare, utilizarea substanțelor de bază, protecția biotică a plantelor, etc.). Pentru a evita pe cât posibil un risc mai mare pentru sănătatea umană, utilizarea PPP este restricționată sau complet interzisă pe terenurile non-agricole și pe terenurile publice unde nu se poate asigura utilizarea în siguranță a PPP, sau unde organismele dăunătoare pot fi controlate prin metode alternative. În același timp, este de asemenea necesar să se ia în considerare posibila expunere a persoanelor în zonele publice care ar putea fi expuse la riscuri în timpul utilizării PPP. Pe terenuri non-agricole, cum ar fi marginea drumurilor, căile ferate, se folosesc metode non-chimice (de exemplu, controlul buruienilor cu abur). În ceea ce privește reducerea utilizării PPP, utilizarea PPP pe terenurile de sport este limitată la utilizarea locală și numai dacă este absolut necesară. Acest lucru asigură expunerea cât mai redusă posibil a persoanelor care stau pe terenurile de joacă după utilizarea PPP.

Reducerea folosirii PPP pe baza metodelor de protecție non-chimice

Măsuri fizice

Măsurile fizice sunt măsuri care previn sau limitează accesul organismelor dăunătoare la plantele cultivate și măsuri pentru capturarea sau distrugerea (suprimarea) organismelor dăunătoare.

Aceste măsuri pot fi folosite pentru a reduce utilizarea PPP ori de câte ori este posibil. Măsurile fizice includ:

- curățarea semințelor și a altor materiale de plantare (îndepărtarea impurităților - semințe de buruieni, îndepărtarea plantelor infectate din culturile de semințe sau alte surse de material de plantare - în pepiniere, plantații-mamă);

- tratamentul termic al materialului de plantare (scufundarea semințelor sau a altor materiale de plantare (altoi, butași) într-o baie de apă pentru o anumită perioadă de timp la o anumită temperatură - metodă de distrugere a bacteriilor patogene, fitoplasme sau virusuri în materialul de plantare; expunerea semințelor la temperaturi scăzute);

- dezinfectarea solului cu ajutorul vaporilor de apă (în horticultură, în special la cultivarea în zone protejate);

- tăierea părților de plante infectate (mucegaiul pulbere al mărului, cancerul mărului sau focul părului);

- lucrările de lucru a solului (reducerea populației de insecte dăunătoare din sol - gândaci, gândaci de porumb; aratul poate influența apariția și creșterea buruienilor - în special a celor perene);

- diverse măsuri de control al dăunătorilor (îndepărtarea manuală a dăunătorilor; spălarea cu apă sau jet de aer; utilizarea cenușii, a pământului de diatomee);

- utilizarea plăcilor lipicioase colorate, a capcanelor cu lumină și a capcanelor cu hrana pentru capturarea diferitelor tipurilor de insecte dăunătoare (capcanele cu lumină, plăcile lipicioase de diferite culori și capcanele cu hrană sunt destinate în principal monitorizării apariției dăunătorilor, dar într-o măsură mai mică reduc și abundanța acestora);

- utilizarea diverselor capcane (pentru capturarea rozătoarelor) și a aparate cu sunete (pentru alungarea păsărilor sau rozătoarelor);

- oprirea dăunătorilor să ajungă la plante prin folosirea de obstacole (plase insecticide - plase împotriva insectelor, plase împotriva păsărilor, bariere înalte la marginea câmpurilor împotriva atacurilor insectelor, garduri electrice și alte dispozitive împotriva animalelor sălbatice);

- controlul mecanic al buruienilor (prășitoare mecanice sau manuale, grăpat sau periaj, cosit, mulcire)

- controlul buruienilor cu abur, spumă caldă, arderea cu flacără (pe drumuri, căi ferate).

Măsuri biotehnice

Măsurile de control biotehnic al dăunătorilor sunt proceduri care utilizează unele dintre reacțiile naturale ale dăunătorilor la anumiți stimuli chimici și includ utilizarea capcanelor (de exemplu, feromonii), a aparatelor repelente și a capcanelor cu hrană.

Feromonii sunt substanțe secretate de insecte în cantități mici și destinate comunicării reciproce între indivizii aceleiași specii. În protecția plantelor, feromonii sunt utilizați în principal pentru monitorizarea populațiilor anumitor dăunători economici în plantații sau culturi (pentru monitorizarea diferitelor tipuri de gândaci - de măr, de piersic, etc.), molii, bufnițe și alți dăunători. Cu ajutorul capcanelor cu feromoni, determinăm prezența și abundanța dăunătorilor în timp și spațiu.

Unele metode de control al dăunătorilor au fost, de asemenea, dezvoltate pe baza feromonilor, una dintre acestea fiind metoda confuziei sau derutării. Feromonii sexuali sunt folosiți pentru a distrage masculii de la găsirea femelelor cu care să se împerecheze și, prin urmare, femelele depun ouă nefecundate. Metoda de derutare este folosită pentru controlul gândacilor de măr și de piersic. Metoda este mai eficientă dacă populația de dăunători nu este prea mare, dacă plantația este izolată și dacă se află într-un complex mai mare.

Feromonii sunt folosiți și în așa-numita "vânătoare în masă". Feromonii sunt folosiți pentru a atrage insectele care urmează să fie prinse în sau pe capcane. Capcanele cu feromoni trebuie să fie în plantație sau distribuite uniform și în număr suficient în instalația de producție, astfel încât un număr suficient de mare de insecte să poată fi prinse în ele și astfel populația lor și, în consecință, daunele pe care le provoacă să fie reduse.

Măsuri biotice

Protecția biotică este o metodă de protecție în care un organism este folosit pentru a reduce densitatea populației altui organism. Scopul protecției biotice este ca alte organisme să interacționeze cu dăunătorii sau patogenii pentru distrugerea sau împiedicarea dezvoltării lor. Ciupercile patogene vegetale au, de asemenea, adversari (antagoniști, patogeni), care fie le parazitează, fie le împiedică creșterea prin emiterea de substanțe (antibiotice) care le afectează, astfel că există o competiție constantă între organisme pentru spațiu și hrană.

Organismele care, prin modul lor de viață, beneficiază cultivatorul în controlul dăunătorilor sunt numite organisme benefice = inamici naturali. În protecția biotică, este utilizată cunoașterea relațiilor dintre specii și, cu organismele benefice selectate, se pot reduce populațiile dăunătorilor pentru a fi menținute sub pragul de daune economice. Organismele benefice sunt insecte, acarieni, nematozi entomopatogeni, ciuperci, bacterii, viruși. Acestea pot fi folosite pentru a controla insectele, acarienii, ciupercile, bacteriile și chiar unele buruieni.

În protecția biotică a plantelor, organisme benefice vii sunt utilizate pentru a controla dăunătorii. În funcție de modul de acțiune asupra dăunătorilor, organisme benefice sunt clasificate în patru grupuri:

1.) **Prădătorii**: sunt insecte, acarieni care se hrănesc cu dăunătorii plantelor și îi distrug. Pentru a menține cu succes o populație de prădători, trebuie să existe suficienți dăunători în stadiul de dezvoltare corespunzător și condiții de mediu stabilite care permit dezvoltarea prădătorilor. Cei mai reușiți prădători benefici nativi printre insecte și arahnide sunt buburuzele, omizile, tripșii, rozătoarele prădătoare, ploșnițele prădătoare și acarienii prădători. Prădătorii reglează abundanța dăunătorilor plantelor în aer liber și în zonele protejate.

2.) **Parazitoizii**: sunt insecte care sunt mai specializate pe gazdă decât prădătorii. Ele depun unul sau mai multe ouă în gazdă (ou, larvă, gândac sau adult dăunător). Larvele eclozate ale parazitoidului se hrănesc cu țesutul gazdei și aspectul său se schimbă dar nu moare imediat. Din dăunător eclozează un parazitoid adult. Un exemplu de parazitoid care este adesea utilizat în zonele protejate este *Encarsia formosa*, un gândac de seră.

3.) **Patogenii**: sunt ciuperci, bacterii sau viruși care infectează gazdele lor, insecte și alte organisme animale. Ele pătrund în interiorul lor, determinându-le să slăbească și, eventual, să moară. Principiul acțiunii este parazitismul. În patologia insectelor, sunt numiți și organisme entomopatogene.

4.) **Antagoniștii**: afectează supraviețuirea sau patogenicitatea organismelor dăunătoare, dar nu le folosesc ca sursă de hrană. Ei inhibă creșterea și reproducerea organismelor dăunătoare prin competiție pentru hrană și spațiu (competiție) sau prin tulburarea lor cu substanțele pe care le secreta (antibioză).

Abordările în protecția biotică sunt următoarele:

- Protecția biotică de tip defensiv: se bazează pe măsuri cu care protejăm organisme benefice indigene și le oferim condiții favorabile pentru a se stabili și reproduce;

- Protecția biotică clasică: este o metodă de protecție biotică, când căutăm un organism benefic non-indigen (cel mai adesea în zona de origine a dăunătorului) și îl introducem într-o zonă unde un dăunător non-indigen s-a răspândit neplanificat, deci, prin urmare, nu are dușmani naturali eficienți și

- Creșterea în masă și eliberarea țintită a organismelor benefice: eliberarea organismelor benefice în locul unde populația de dăunători trebuie redusă poate fi făcută fie prin inundații, fie prin inoculare sezonieră. Introducerea sezonieră inoculativă a unei specii benefice înseamnă introducerea unei specii benefice indigene sau non-indigene propagate în laborator sau altfel în aer liber sau într-o zonă protejată. Un astfel de organism este introdus o dată sau de mai multe ori pe parcursul sezonului de creștere, cu scopul reproducerii ulterioare automate.

Protecția biotică are multe avantaje față de protecția chimică, deoarece cu protecția biotică nu există reziduuri de PPP în culturi și preparatele biotice nu au un termen de grație, de asemenea, nu afectează plantele, în general nu afectează fenomenul de rezistență al dăunătorilor, nu poluează mediul și nu sunt periculoase pentru persoanele care le folosesc.

Succesul protecției biotice depinde în mare măsură de cunoștințele utilizatorului, deoarece este necesară o bună cunoaștere a organismelor dăunătoare și a modificărilor pe care le provoacă asupra plantelor, precum și a pragurilor de nocivitate. Utilizatorii trebuie, prin urmare, să fie bine instruiți pentru a monitoriza apariția speciilor de organisme dăunătoare și benefice. Unul din dezavantajele protecției biotice este că acționează încet. Utilizatorii trebuie, de asemenea, să cunoască ciclul de dezvoltare și pragul de utilitate al organismelor benefice. Este de asemenea foarte important să știm cum transportăm și stocăm preparatele cu organisme benefice, când le introducem în funcție de mărimea populației de dăunători, care sunt condițiile la locul introducerii (temperatura, iluminarea, umiditatea) și ce PPP s-a folosit înainte de introducere.

Atunci când folosim organisme benefice, PPP nu pot fi utilizate simultan, deoarece există doar câteva PPP compatibile cu organisme benefice. Folosirea unui insecticid greșit va afecta sau va ucide organisme benefice.

Proceduri mai detaliate pentru introducerea, cultivarea și utilizarea organismelor benefice, adică insecte, acarieni și nematozi entomopatogeni, sunt reglementate în Slovenia prin Regulamentul privind protecția biotică a plantelor (Ur. l. RS, nr. 45/06), introducerea și utilizarea microorganismelor (fungi, bacterii și viruși) fiind guvernată de Legea privind produsele fitosanitare.

În protecția biotică, o limitare esențială este că putem folosi doar organisme benefice care s-a dovedit că nu pot provoca daune în mediul înconjurător prin afectarea organismelor non-țintă. Tipurile de organisme benefice pot fi native sau non-native, un organism nativ (autohton) a fost întotdeauna prezent într-un ecosistem și, prin urmare, nu ne așteptăm la impacte negative atunci când folosim un astfel de organism. Un organism non-nativ este un organism care nu este prezent pe teritoriul respectiv sau nu a fost prezent până când a fost locuit de oameni. Parte a regulamentului menționat sunt listele de organisme benefice native și non-native a căror introducere și utilizare sunt permise pe teritoriul Sloveniei. Numai organismele enumerate în aceste liste pot fi recomandate și promovate.

Reducerea utilizării PPP prin folosirea de PPP bazate pe microorganisme, extracte din plante, feromoni, alte substanțe cu risc scăzut și substanțe de bază

Sub termenul de PPP înțelegem toate substanțele destinate protecției plantelor sau a produselor vegetale împotriva organismelor dăunătoare. În protecția integrată a plantelor, pentru a reduce utilizarea substanțelor chimice, se utilizează preferențial PPP care sunt mai puțin periculoase și mai puțin dăunătoare pentru sănătatea umană, animale și mediu. Acest lucru include, de asemenea, utilizarea PPP realizate pe bază de microorganisme, extracte de plante, feromoni și a substanțe cu risc redus. Aceleași reglementări legislative se aplică înregistrării și utilizării acestor preparate în Slovenia ca și pentru PPP chimice. Lista curentă a PPP-urilor înregistrate pe bază de microorganisme, extracte de plante, feromoni și substanțe cu risc redus este disponibilă la adresa web:

http://spletni2.furs.gov.si/PPP/REGSR/PPP_sezn.asp?L=1&S=4&top=1

Controlul dăunătorilor folosind microorganisme entomopatogene

Controlul dăunătorilor cu microorganisme entomopatogene este o măsură în cadrul căreia sunt folosiți fungi entomopatogeni, bacterii entomopatogene sau viruși pentru a controla speciile dăunătoare de insecte, iar controlul se bazează pe patologia insectelor, atunci când vorbim și despre protecția microbiotică. Ciupercile, bacteriile sau virușii entomopatogeni trebuie să fie pregătiți pentru utilizare, astfel încât să poată fi stocați și aplicați, menținând totodată un nivel ridicat de vitalitate pentru a fi activați eficient după aplicare. Ciupercile entomopatogene infectează insectele în diferite stadii de dezvoltare (insecte adulte, larve, gândaci). Printre ciupercile entomopatogene, ciupercile din genurile *Beauveria* și *Metarhizium* au arătat cea mai mare utilitate în controlul dăunătorilor, deși sunt folosite și testate multe altele. Printre bacteriile entomopatogene, *Bacillus thuringiensis* (B.t.) a fost utilizat pe scară largă pentru controlul dăunătorilor de decenii. Aceste bacterii formează proteine sub formă de cristale, care sunt transformate în toxine în tractul digestiv al insectelor și provoacă moartea acestora. Virușii entomopatogeni infectează în primul rând larvele de insecte atunci când sunt ingerate. Virușii cu un spectru îngust de gazde sunt deosebit de potriviți pentru protecția biotică. În producția organică și integrată de mere, utilizarea unui preparat pe bază de virus granulat *Cydia pomonella* pentru controlul gândacului mărului s-a impus deja în Slovenia.

Protecția împotriva bolilor bazată pe fungi și bacterii

În protecția împotriva bolilor bazate pe fungi și bacterii, sunt folosite microorganisme precum ciuperci și bacterii care parazitează fungii sau împiedică reproducerea și dezvoltarea acestora. În plus față de parazitism, competiție și antibioză, unele microorganisme benefice acționează și pentru a crește rezistența plantelor la boli sau pentru a promova creșterea plantelor, ceea ce crește rezistența plantelor la daunele cauzate de organisme dăunătoare. Similar modului în care folosim o abordare protectivă în protecția biotică împotriva dăunătorilor, putem folosi și microorganisme care sunt deja prezente în zona de creștere, sau putem crește abundența și diversitatea acestora, în controlul fungilor sau bacteriilor patogene pentru plante. Prin adăugarea de materie organică (îngrășăminte verzi, îngrășăminte organice, coajă de compost și alte composturi), afânarea solului și asigurarea umidității adecvate, încurajăm reproducerea fungilor și bacteriilor saprofite. Atunci când folosim preparate microbiotice pentru controlul bolilor plantelor, trebuie să respectăm avertismentele referitoare la amestecarea cu alte fungicide pentru a nu distruge microorganismele active. Preparatele sunt eficiente într-un interval de temperatură limitat, iar în cazul unora dintre ele este necesară pregătirea prealabilă a suspensiei de pulverizare pentru a accelera germinarea sporilor fungilor benefici. Nu există perioade de retragere pentru preparatele microbiotice, sau acestea sunt foarte scurte.

Utilizarea PPP bazate pe extracte din plante, feromoni și substanțe cu risc scăzut

Extractele vegetale sunt alcătuite din una sau mai multe substanțe găsite într-o plantă și obținute din plante sau părțile acestora prin procese de presare, măcinare, zdrobire, distilare, extracție, fermentație sau alte procese. Protejarea plantelor împotriva dăunătorilor implică folosirea diferitelor substanțe produse în procesele metabolice ale plantelor și care joacă un rol important în protejarea plantei de organisme nocive. Printre substanțele de origine vegetală cele mai cunoscute și utile din lume se numără preparatele care conțin substanța activă piretrină, un insecticid natural obținut sub formă de pudră sau ulei al gândacului de pulbere *Chrysanthemum cinerariifolium* sau *Chrysanthemum coccineum*. Printre preparatele cu activitate insecticidă cele mai disponibile comercial, găsim și un extract obținut din arborele de Neem (*Azadirachta indica*) - ulei de neem. Acesta conține o serie de metaboliți secundari, inclusiv salanină, care acționează ca un factor de descurajare și împiedică insectele să se hrănească, și azadirahtină, care inhibă creșterea insectelor și cauzează tulburări în reproducție și metamorfoză. În plus față de efectul său insecticid, uleiul de arbore de neem are și efect nematicidal, bactericid și fungicid.

Grupul de PPP include toate substanțele, cu excepția substanțelor nutritive care afectează procesele de viață și creșterea plantelor (regulatori de creștere a plantelor, substanțe pentru promovarea rezistenței plantelor) și substanțele care sunt utilizate în procedurile biotehnice de control al SO (feromoni sau repelente). Unele dintre substanțele enumerate sunt definite ca substanțe cu risc scăzut pe baza unor criterii speciale. Informații despre substanțele cu risc scăzut sunt disponibile în baza de date europeană a PPP: https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=search.as.

Utilizarea substanțelor de bază

Substanțele de bază care pot fi folosite pentru protecția plantelor sunt acele substanțe care nu sunt problematice, nu provoacă dezechilibre hormonale și nu au efecte neurotoxice sau imunotoxice. Ele sunt aprobate pentru alte scopuri și în mod normal nu sunt utilizate pentru protecția plantelor și nu sunt puse pe piață ca produse de protecție a plantelor - PPP, dar totuși sunt utile pentru protecția plantelor, fie direct sau în preparatele care conțin substanțe de bază. Substanțele care îndeplinesc criteriile pentru alimente pot fi considerate substanțe de bază. Utilizarea substanțelor de bază în Uniunea Europeană (UE) este aprobată de Comisia Europeană.

Lista substanțelor active permise care sunt aprobate ca substanțe de bază pentru protecția plantelor poate fi găsită pe site-ul MKGP-UVHVVR: https://www.gov.si/teme/osnovne-snovi-za-varstvo-rastlin/. În dreptul numelor în limba slovenă din prima coloană, sunt listate numele în limba latină sau engleză în a doua coloană. Unele dintre aceste substanțe pot fi de asemenea folosite de utilizator în producția organică, ceea ce este indicat în a treia coloană.

Bibliografie

- https://www.gov.si/teme/trajnostna-raba-fitofarmacevtskih-sredstev/

- Legea privind fitofarmaceuticele: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6355

- Ordinul care interzice circulația și utilizarea anumitor fitofarmaceutice pe teritoriul Republicii Slovenia: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ODRE2109

- Regulamentele privind protecția integrată a plantelor împotriva organismelor dăunătoare: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11530

- Regulile privind utilizarea corectă a produselor fitosanitare:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11541

- Regulament privind condițiile de comerț cu produse de protecție a plantelor și privind gestionarea și transmiterea datelor privind vânzarea produselor de protecție a plantelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11540

- Regulamentele privind instruirea cu privire la produsele de protecție a plantelor:

http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11537

Scăderea impactului negativ asupra mediului și oamenilor

Ce sunt produsele de protecție a plantelor

Produsele de protecție a plantelor (PPP) sunt preparate folosite în agricultură pentru a proteja plantele și culturile de agenți patogeni, buruieni și dăunători. Înainte de a fi puse pe piață, este necesar să se evalueze ingredientele active, care conțin substanțe ce pot fi periculoase, și să se stabilească utilizarea lor acceptabilă pentru a asigura protecția oamenilor și a mediului înconjurător. Procesul de evaluare a substanțelor active și a preparatelor se numește înregistrare. Încercăm să reducem cât mai mult posibil riscul pentru sănătatea umană și mediul înconjurător prin controlul traficului și utilizării produselor de protecție a plantelor. În Slovenia, precum și în alte state membre ale UE, sprijinim în principal alte metode de protecție a plantelor înainte de utilizarea produselor de protecție a plantelor, chiar dacă suntem conștienți că aceste produse sunt încă importante pentru producția agricolă de astăzi [1].

Utilizarea produselor de protecție a plantelor

Modul în care sunt utilizate produsele de protecție a plantelor joacă un rol important în prevenirea impactului negativ potențial al PPP asupra mediului și sănătății umane. PPP trebuie utilizate într-un mod în care să nu ducă la contaminarea apei subterane și celei de suprafață și să prevină depunerea de PPP pe suprafețele adiacente. Acest lucru ar trebui să fie făcut și în momentul pregătirii amestecului de stropire, îndepărtarea resturilor de strop și a ambalajului. În timpul utilizării, echipamentul de protecție personală este obligatoriu pentru a proteja sănătatea utilizatorului [1].

Efectul utilizării produselor de protecție a plantelor asupra oamenilor

PPP pot intra în corp în diferite moduri, cum ar fi prin inhalarea aerosolilor, a prafului și a vaporilor care conțin pesticide, prin expunerea orală, prin consumul de alimente/apă contaminate și prin expunerea directă a pielii la contact. PPP sunt eliberate în sol și în apele subterane, putând ajunge în apa potabilă, iar picăturile pulverizate de pesticide pot fi purtate de vânt și pot polua aerul. Efectele produselor de protecție a plantelor asupra sănătății umane depind de toxicitatea substanței chimice utilizate și de durata și amploarea expunerii. Lucrătorii agricoli și familiile lor sunt cel mai expuși în contact direct cu PPP. Fiecare persoană conține PPP în celulele de grăsime. La expunerea umană, copiii sunt grupul cel mai vulnerabil, deoarece sunt încă în curs de dezvoltare și sistemul lor imunitar nu este încă la fel de dezvoltat sau mai slab decât cel al unui adult. În orice caz, cu manipularea necorespunzătoare a PPP, acestea pot bioacumula în corp [2].

PPP pot fi împărțite în funcție de proprietățile lor periculoase pentru sănătatea umană în caz de expunere acută în:

- dăunătoare sănătății - astfel de PPP provoacă leziuni la nivelul diverselor organe (ficat, rinichi) și sisteme (nervi, oase). Leziunile apar mai ales după ingestie, contact cu pielea sau inhalare.

- iritante - acest tip de PPP provoacă sufocare datorită iritației căilor respiratorii (plămâni, trahee, nas), pot provoca tuse, lăcrimarea ochilor, iritații ale pielii și mucoaselor, care pot să se manifeste ca inflamații ale pielii și mucoaselor.

- caustice - acest tip de PPP provoacă ulcere și arsuri ale pielii și mucoaselor [3].

Reducerea impactului PPP asupra sănătății oamenilor

Pentru a reduce impactul negativ al PPP asupra sănătății umane, este necesar să urmăm regulile de bază pentru utilizarea în siguranță a PPP. Este un fapt că PPP nu sunt periculoase atunci când sunt utilizate corect și astfel se reduce impactul negativ asupra sănătății umane, precum și asupra mediului înconjurător. În același timp, trebuie să ținem cont de următoarele aspecte:

- Înainte de achiziționarea PPP, verificăm întotdeauna stocurile și în același timp eliminăm toate acele PPP care au expirat. Acestea vor fi duse la cel mai apropiat centru de colectare a deșeurilor periculoase.

- PPP sunt întotdeauna stocate în încăperi corespunzătoare, care trebuie să fie blocate.

- Cumpărăm întotdeauna PPP înregistrate. În timpul transportului, ne asigurăm că PPP sunt transportate separat de animale, alimente, produse agricole și furaje, și ne asigurăm că transportul are loc în condiții de siguranță până la locul de utilizare.

- Înainte de utilizare, citim cu atenție instrucțiunile de utilizare.

- În timpul pregătirii și dozării PPP, purtăm întotdeauna echipament de protecție personală, pe care îl folosim și în timpul pulverizării și ulterior în timpul curățării dispozitivelor pentru aplicarea PPP. Spălați întotdeauna mănușile după utilizare [4].



Figura 1: Echipament personal de protecție.



Figura 2: Exemplu de colectare și depozitare corectă și, respectiv, incorectă a ambalajelor PPP.

- Folosim dispozitive de pulverizare moderne și tehnic impecabile, care previn poluarea punctiformă și derivațiile soluției de pulverizare [4];

- După utilizare, recipientele goale de PPP sunt depozitate corespunzător până când sunt trimise la punctul de colectare [4].

Impactul folosirii PPP asupra mediului și biodiversității

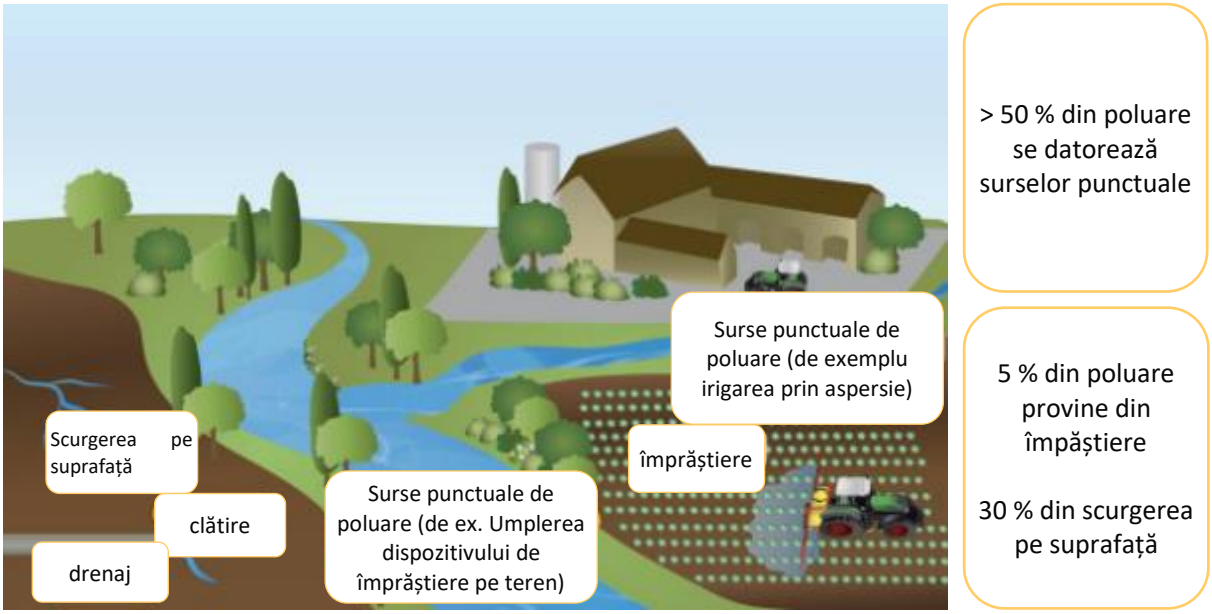


Figura 3: Surse de poluare punctuale și ne-punctuale. (Sursa: Basic principles of good agricultural practice Plant protection and use of PPP)

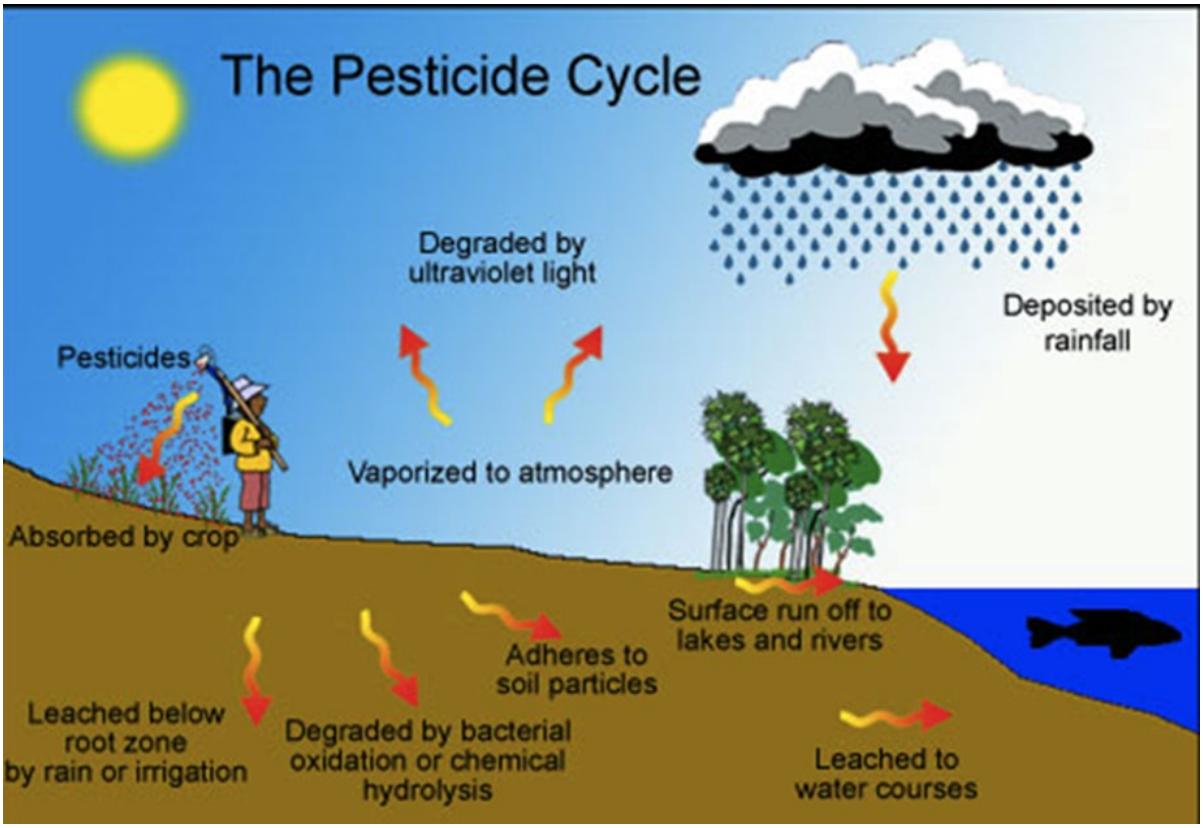


Figura 4: Circulația PPP în natură și impactul asupra oamenilor și mediului.

Pe termen lung, bunăstarea economiilor agricole depinde în principal de serviciile ecosistemice ale organismelor vii, apei, aerului, calității solului și altor resurse naturale. Un management bun trebuie să includă, prin urmare, protecția mediului înconjurător dacă vrem să asigurăm conservarea tuturor acestor resurse, care sunt importante pentru toate ființele vii. PPP sunt indispensabile în producția alimentară în zilele noastre, dar utilizarea lor necorespunzătoare poate avea un impact foarte puternic asupra mediului. În plus față de efectele pozitive ale PPP împotriva organismelor dăunătoare, utilizarea lor poate avea multe impacturi asupra mediului: pot contribui la poluarea surselor de apă, aer și sol, iar, datorită toxicității lor pentru organismele non-țintă, acestea afectează funcțiile importante ale ecosistemelor, cum ar fi controlul natural al dăunătorilor sau polenizarea. Este important să fim conștienți de principalele cauze care pot duce la impacturi negative asupra mediului. Aceste cauze sunt: eliminarea necorespunzătoare a deșeurilor PPP și a ambalajelor, aplicarea inadecvată a soluției de pulverizare, răspândirea soluției de pulverizare în afara zonei de tratament și vărsarea accidentală [3].

Reducerea impactului PPP asupra mediului și biodiversității

Pentru a reduce impactul negativ al PPP asupra mediului și biodiversității, este necesar să luăm în considerare următoarele măsuri: este necesar să prevenim extinderea utilizării PPP în zonele agricole și non-agricole vecine, către sursele de apă din apropiere, prin planificarea corectă a aplicării PPP, utilizând utilaje de pulverizare adecvate și urmând instrucțiunile pentru utilizarea corectă a PPP.

În măsura în care aplicarea PPP se face în exces doar pe acestea, se reduce cantitatea de PPP care trebuie aplicată organismelor țintă. Ca rezultat, eficiența pulverizării este redusă.

De asemenea, este recomandabil să se înființeze așa-numitele centuri verzi în apropierea zonelor agricole, care sunt acoperite cu o vegetație densă, ceea ce ne ajută să reducem extinderea utilizării PPP către sursele de apă din apropiere, spre zonele agricole învecinate și să contribuim la prevenirea eroziunii solului cauzată de soluția de pulverizare.

Măsuri și metode mai detaliate de utilizare corectă a PPP pentru a reduce riscurile pentru mediu cauzate de utilizarea lor trebuie definite în legislația națională a fiecărei țări [3].

Măsuri pentru reducerea riscului utilizării PPP

În implementarea măsurilor pentru reducerea riscurilor în utilizarea PPP, este necesar să adoptăm anumite măsuri generale care trebuie luate în considerare, indiferent dacă s-a efectuat și o evaluare a riscurilor pentru PPP în ceea ce privește utilizarea și aplicarea în condiții de siguranță [3].

Aceste măsuri sunt următoarele:

- În timpul utilizării PPP, trebuie să avem grijă să nu pulverizăm niciodată peste corpuri de apă (șanțuri, fântâni, canale de ameliorare, șanțuri de drenaj etc.).

- Este necesar să se stabilească o zonă de protecție netratată pe terenurile agricole, pentru protecția organismelor acvatice. De exemplu, în Slovenia, zonele de siguranță sunt de cel puțin 5 metri de la apele de ordinul doi și de 15 metri de la apele de ordinul întâi (râuri, lacuri, mări).

- Selecția, aplicarea și utilizarea PPP trebuie ajustate în funcție de condițiile hidrologice și climatice ale zonei și de proprietățile solului.

- Există o mai mare posibilitate de scurgere superficială și eroziune pe terenurile fără vegetație, care pot fi prevenite prin înființarea centurilor verzi, prin arătura în straturi sau în pantă pe terenul înclinat, prin utilizarea tehnicilor de cultivare minimă, prin mulcire în timpul perioadei de vegetație, prin acoperirea solului, prin asigurarea unei aprovizionări adecvate cu materie organică.

- Utilizarea PPP nu este permisă pe solul inundat și înghețat.

- În implementarea irigației, este necesar să planificăm irigația foarte atent și adecvat, având în vedere starea solului, proprietățile fizice și chimice ale solului și factorii meteorologici.

- Irigarea solului după aplicarea PPP crește scurgerea și eroziunea superficială similar cu ploaia [3].

Este foarte important ca atunci când utilizăm PPP să luăm în considerare toate măsurile pe care le-am enumerat și, în același timp, este important ca fiecare utilizator al acestor resurse să țină evidențe precise ale utilizării PPP.

Bibliografie

1. Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin. 2022. Trajnostna raba fitofarmacevtskih sredstev. Dostopno prek: https://www.gov.si/podrocja/kmetijstvo-gozdarstvo-in-prehrana/varstvo-rastlin/fitofarmacevtska-sredstva/
2. Wikipedija, Environmental impact of pesticides, dostopno prek: https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_pesticides
3. mag. Mateja Blažič, Renata Fras Peterlin, dr. Katarina Gros, Martin Mavsar, dr. Petra Muri, mag. Tomaž Poje, dr. Lucija Šarc, Andreja Sporn, mag. Meta Urbančič Zemljič, dr. Andrej Vončina, mag. Metka Žerjav, Primož Žigon, 2022. Temeljna načela dobre kmetijske prakse varstva rastlin in varne rabe fitofarmacevtskih sredstev. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Sektor za fitofarmacevtska sredstva: Kmetijski inštitut Slovenije. 204-213 str.
4. mag. Iris Škerbot, Renata Fras Peterlin, Alojz Sreš, Varna uporaba fitofarmacevtskih sredstev-Nasveti za male uporabnike ,RS, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, GIZ Fitofarmacija

Creșterea producției agricole și a autosuficienței alimentare

Introducere

Siguranța alimentară, așa cum este definită de Comitetul Organizației Națiunilor Unite pentru Siguranța Alimentară Mondială, înseamnă că toate persoanele, în orice moment, au acces fizic, social și economic la suficiente alimente, sigure și nutritive, care să îndeplinească preferințele lor alimentare și nevoile dietetice pentru o viață activă și sănătoasă [1].

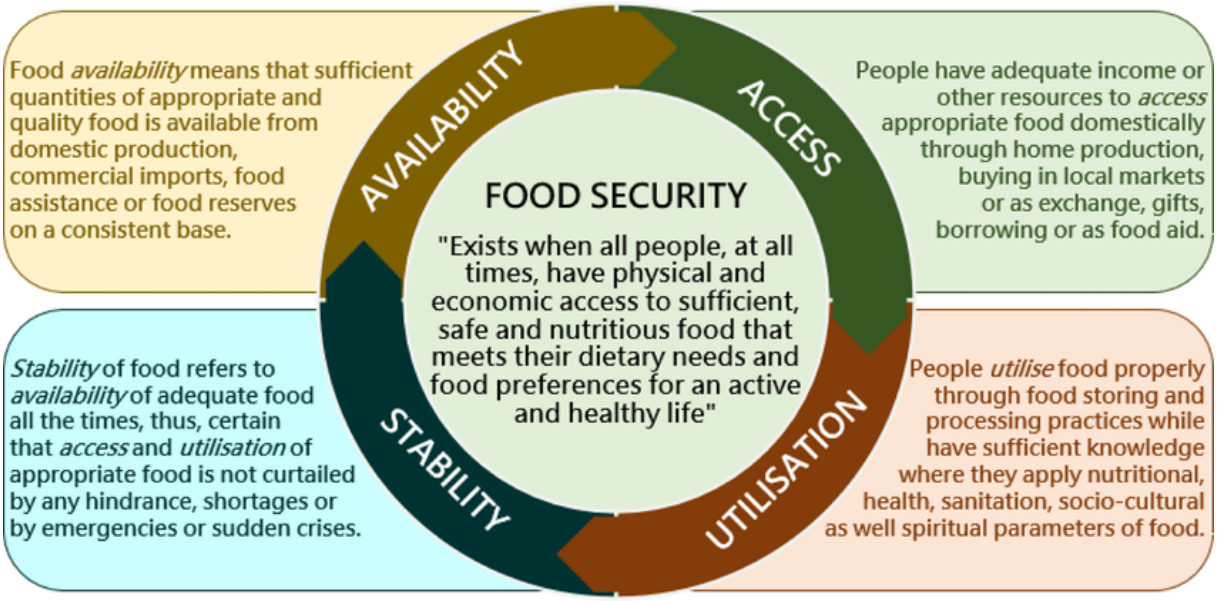


Figura 1. Cele patru dimensiuni ale siguranței alimentare.

https://www.researchgate.net/figure/Four-dimensions-of-food-security-As-per-its-definition-food-security-has-four_fig1_355187464

Autosuficiența alimentară

Autosuficiența alimentară și volatilitatea prețurilor au devenit o prioritate importantă pe agenda politică a guvernelor [2]. Creșterea diversității culturilor este o abordare agroecologică pentru îmbunătățirea autosuficienței alimentare, astfel încât micii producători să poată menține stabilitatea sistemelor lor alimentare, reducând riscurile de stres, izbucniri de dăunători sau secetă [3]. O regiune poate crește stabilitatea sistemului său alimentar prin construirea propriului său sistem de autosuficiență alimentară [5]. Producția alimentară reprezintă un punct de plecare în analiza suveranității și securității alimentare. Generarea de venituri prin producția eficientă în câmp oferă o bază reală de productivitate [4]. Producția agricolă tradițională a sistemelor de producție determină accesul la alimente și obținerea de venituri complementare prin vânzarea produselor principale și a celor secundare, acest lucru fiind considerat rezultatul integrării strategiilor de viață [5].

Provocări în producția alimentară pentru asigurarea siguranței alimentare în condițiile reducerii utilizării fitofarmaceuticelor

"Se estimează că populația lumii va crește cu o treime; FAO estimează că, dacă tendințele actuale de creștere a veniturilor și consumului continuă fără întrerupere, producția agricolă va trebui să crească cu 60% pentru a satisface cererile crescute așteptate pentru alimente și furaje. O creștere cu 60% a cererii globale de alimente va avea loc până în 2050 față de nivelurile din 2006, datorită creșterii populației și modificărilor în modelele alimentare, în timp ce schimbările climatice vor influența continuu sistemele alimentare globale" [6]. "Numărul persoanelor afectate de foame la nivel global a

crescut începând cu anul 2014, în ciuda dublării producției alimentare în ultimele trei decenii. Pe parcursul anului 2019, "două miliarde de oameni, sau 25,9% din populația globală, au experimentat foame sau nu au avut acces regulat la alimente nutritive și suficiente" [7].

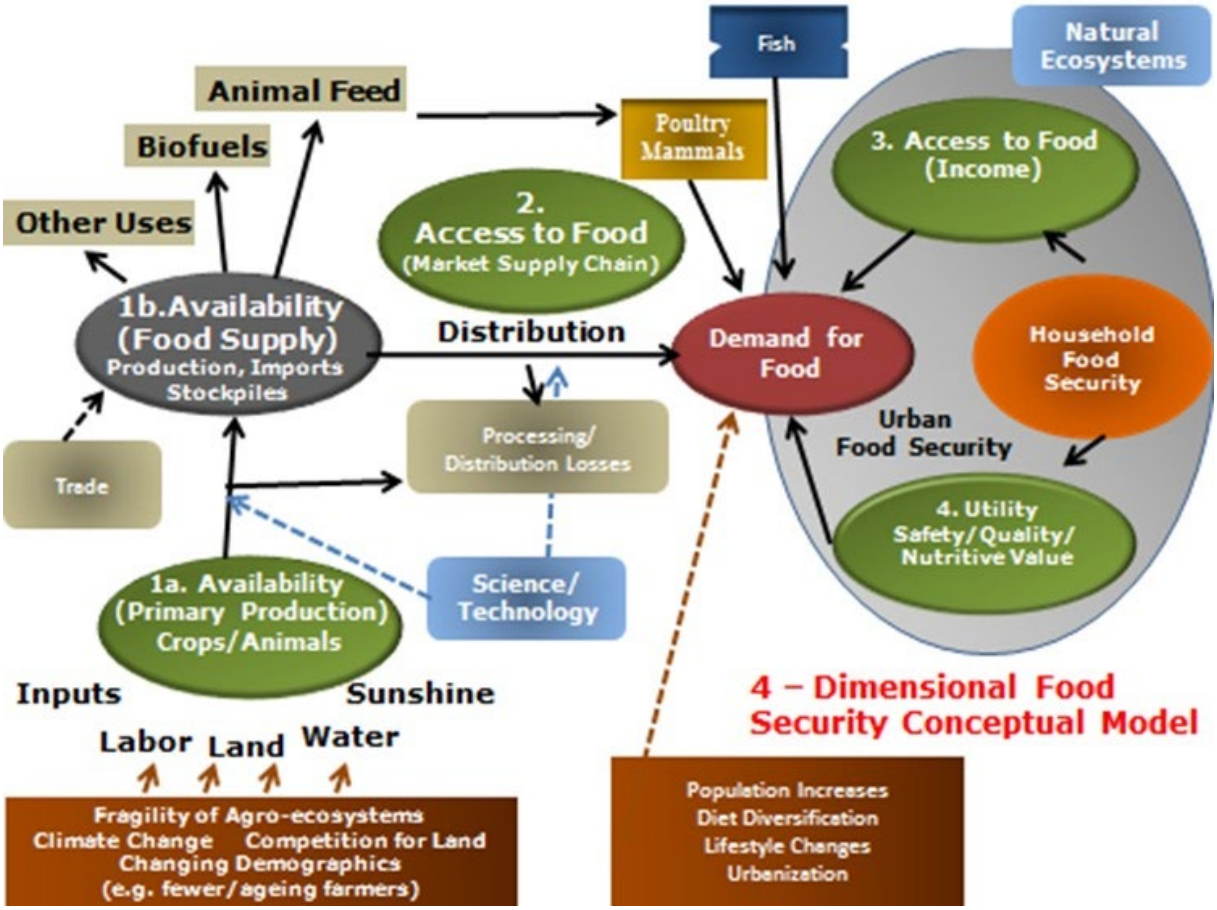


Figura 2: Model conceptual cu 4 dimensiuni al securității alimentare.

(Sursa: https://www.researchgate.net/figure/The-Four-Dimensions-of-Food-Security_fig1_283048378)

În agricultură, sarcina fundamentală este de a furniza cantități adecvate de alimente fără defecte sau de a îmbunătăți auto-suficiența cu produse agricole, fapt impus de schimbările climatice datorită cărora dezastrele naturalele sunt tot mai frecvente, aceasta făcând tot mai imprevizibilă producția alimentară, și în care există numeroasele evenimente de criză legate de economia globală. Asigurarea cantităților suficiente de alimente sigure, având în vedere principiul durabilității, conservarea mediului natural, a spațiului și a biodiversității nu este o sarcină ușoară, deoarece producția agricolă este constant amenințată de numeroase boli ale plantelor, dăunători și specii invazive de plante, care reduc calitatea și cantitatea recoltelor și afectează direct calitatea alimentelor și economia producției de plante agricole. Pentru a atinge obiectivul stabilit, este, de asemenea, necesar să ne concentrăm pe îngrijirea mediului și reducerea riscurilor și impacturilor utilizării produselor fitosanitare (PPP), care sunt un element important al protecției sănătății plantelor, asupra sănătății umane și a mediului [8].

Controlul dăunătorilor care afectează culturile și plantele este necesar atât pentru a asigura securitatea alimentară, cât și pentru a asigura venituri viabile fermierilor pentru producția lor. Acest lucru trebuie făcut în timp ce se minimizează riscurile pentru oameni și mediul înconjurător. O astfel de abordare, bazată pe metode naturale ori de câte ori este posibil și pesticide chimice doar ca ultimă soluție, este numită "management integrat al dăunătorilor" (IPM). Recent, Comisia Europeană a publicat o bază de date care prezintă o vedere de ansamblu a metodelor IPM disponibile în prezent, însoțită de un studiu care evaluează eficacitatea lor și perspectivele pentru popularizarea acestor metode.

Baza de date cuprinde aproximativ **1300 de exemple de practici, tehnici și tehnologii** ce țin de opt principii IPM stabilite la nivelul UE și internațional, cum ar fi utilizarea rotației culturilor și fertilizării echilibrate, monitorizarea organismelor dăunătoare, aplicarea țintită și redusă și, mai important, preferința pentru metodele non-chimice de control a dăunătorilor. Baza de date include, de asemenea, 273 de **"linii directoare specifice culturii"** dezvoltate de autoritățile naționale ale statelor membre și organizațiile publice pentru a implementa cerințele IPM în conformitate cu Directiva privind utilizarea durabilă a pesticidelor (SUD). Această prezentare a practicilor, stabilită după doi ani de lucru, arată că există o mare varietate în adoptarea și opțiunile de implementare pentru IPM în țările UE. Toate exemplele sunt prezentate în limbile naționale ale statelor membre cu o scurtă introducere în limba engleză. Această trusă de instrumente este destinată să inspire autoritățile naționale, consilierii agricoli etc să dezvolte și să implementeze abordări IPM după adaptarea lor la condițiile locale/regionale ale fermelor și condițiile agro-climatice. Baza de date, găzduită pe platforma de modelare a datelor economice a JRC (DATAm), va fi actualizată cu exemple suplimentare în mod regulat [9].

Prezentare generală a strategiei IPM

Un fundament al Directivei este promovarea IPM, pentru care sunt stabilite principii generale în Anexa III la Directivă. Împreună cu promovarea agriculturii organice, IPM este unul dintre instrumentele pentru gestionarea dăunătorilor cu un consum redus de pesticide și IPM trebuie implementat de către toți utilizatorii profesioniști.

• IPM implică o abordare integrată pentru prevenirea și/sau suprimarea organismelor dăunătoare plantelor prin utilizarea tuturor informațiilor, instrumentelor și metodelor disponibile.

• IPM își propune să mențină utilizarea pesticidelor și a altor forme de intervenție doar la niveluri care sunt economic și ecologic justificate și care reduc sau minimizează riscul pentru sănătatea umană și mediul înconjurător.

• Metodele biologice, fizice și alte metode non-chimice durabile trebuie preferate metodelor chimice dacă acestea asigură un control satisfăcător al dăunătorilor.

Definiția IPM

Managementul integrat al dăunătorilor (IPM) înseamnă luarea în considerare atentă a tuturor metodelor disponibile de protecție a plantelor și integrarea ulterioară a măsurilor adecvate care descurajează dezvoltarea populațiilor de organisme dăunătoare și mențin utilizarea produselor de protecție a plantelor și a altor forme de intervenție la niveluri care sunt economic și ecologic justificate și care reduc sau minimizează riscurile pentru sănătatea umană și mediul înconjurător. 'Managementul integrat al dăunătorilor' pune accentul pe creșterea unei culturi sănătoase cu cel mai mic impact posibil asupra agroecosistemelor și încurajează mecanismele naturale de control al dăunătorilor.

Principiile controlului dăunătorilor

1. Prevenirea și/sau suprimarea organismelor dăunătoare ar trebui să fie realizate sau susținute printre alte opțiuni, în special prin:

- rotația culturilor,

- utilizarea tehnicilor adecvate de cultivare (de exemplu, tehnica de semănat pe sol nepregătit, date și densități de semănat, lucrările de conservare a solului, tăierea și semănatul direct),

- utilizarea, atunci când este potrivit, a soiurilor rezistente/tolerante și a semințelor și materialului săditor standard/certificat,

- utilizarea fertilizării echilibrate, a îngrășămintelor și a practicilor de irigații/drenaj,

- prevenirea răspândirii organismelor dăunătoare prin măsuri de igienă (de exemplu, prin curățarea regulată a utilajelor și echipamentelor),

- protecția și îmbunătățirea organismelor benefice importante, de exemplu, prin măsuri adecvate de protecție a plantelor sau utilizarea infrastructurii ecologice în interiorul și în afara siturilor de producție.

2. Organismele dăunătoare trebuie monitorizate prin metode și instrumente adecvate, atunci când acestea sunt disponibile. Astfel de instrumente adecvate ar trebui să includă observațiile în câmp, precum și sistemele de avertizare, prognozare și diagnostic precoce, științific fundamentate, atunci când este fezabil, precum și utilizarea sfaturilor de la consilieri calificați profesional.

3. Bazându-se pe rezultatele monitorizării, utilizatorul profesionist trebuie să decidă dacă și când să aplice măsuri de protecție a plantelor. Valorile prag robuste și științific fundamentate sunt componente esențiale pentru luarea deciziilor. Pentru organisme dăunătoare, nivelurile de prag definite pentru fiecare regiune, zonă specifică, cultură și condiții climatice particulare trebuie luate în considerare înainte de tratamente, atunci când este fezabil.

4. Metodele sustenabile biologice, fizice și alte metode non-chimice trebuie să fie preferate metodelor chimice dacă acestea asigură un control satisfăcător al dăunătorilor.

5. Pesticidele aplicate trebuie să fie cât mai specifice posibil pentru țintă și să aibă cele mai mici efecte secundare asupra sănătății umane, a organismelor non-țintă și a mediului înconjurător.

6. Utilizatorul profesionist ar trebui să limiteze utilizarea pesticidelor și a altor forme de intervenție la nivelurile necesare, de exemplu, prin doze reduse, frecvență de aplicare redusă sau aplicații parțiale, dacă nivelul de risc în vegetație este acceptabil și dacă nu crește riscul de dezvoltare a rezistenței în populațiile de organisme dăunătoare.

7. În cazul în care riscul de rezistență la o măsură de protecție a plantelor este cunoscut și în cazul în care nivelul organismelor dăunătoare necesită aplicarea repetată a pesticidelor la culturi, ar trebui să se aplice strategii anti-rezistență disponibile pentru a menține eficacitatea produselor. Aceasta poate include utilizarea mai multor pesticide cu diferite moduri de acțiune.

8. Bazându-se pe înregistrările privind utilizarea pesticidelor și pe monitorizarea organismelor dăunătoare, utilizatorul profesionist ar trebui să verifice succesul măsurilor de protecție a plantelor aplicate [10].

Beneficiile viitoare ale bazării pe agricultura locală

Importanța alimentelor locale

Un om modern nu ar trebui să fie indiferent la tipul de hrană pe care o consumă. Din punct de vedere al sănătății, se recomandă consumul de legume și fructe sezoniere din mediul local, deoarece acestea sunt de obicei mai bine coapte și au o valoare biologică (nutrițională) mai mare. Motivele pentru care ar trebui să cumperi alimente locale includ:

Reducerea distanței parcursă de alimente: Multe dintre produsele alimentare de pe rafturile supermarketurilor au parcurs distanțe lungi pentru a ajunge în farfurie. Prin scurtarea lanțului alimentar, consumatorii pot reduce kilometrii parcurși de alimente și, odată cu aceasta, emisiile de carbon. Mai presus de toate, se reduce și poluarea indirectă prin consum. Cumpărând local, poți contribui cu adevărat la reducerea emisiilor tale de gaze cu efect de seră și la impactul tău general.

Este mai sănătos: Există mai multe șanse să obții produse de calitate superioară dacă cumperi local. Dacă sursa este locală, ai garantată urmărirea completă a traseului alimentelor înapoi până la fermă. Nu este nevoie să adaugi conservanți sau alte substanțe chimice la alimentele locale pentru a le

menține proaspete în timpul transportului. Fructele și legumele încep să-și piardă nutrienții în termen de 24 de ore de la recoltare, astfel că alimentele crescute local sunt cele mai bogate în nutrienți atunci când sunt culese la apogeul maturării.

Se folosește mai puțină ambalare: Cumpărând de pe piețele locale, ai ocazia să reduci risipa de alimente și ambalaje. Multe dintre alimentele produse sunt risipite de la sămânță până la farfurie, iar deșeurile sunt generate în toate etapele lanțului de aprovizionare, de la producție și recoltare până la distribuție și consum (unde se produce cel mai mare procentaj de deșeuri în această etapă).

Ajută economia locală: La nivel fundamental, atunci când cumperi local, mai mulți bani rămân în comunitate. Dacă analizăm mai atent modul în care circulă banii, putem vedea consecințele economice profunde ale menținerii banilor în orașe sau regiuni și modul în care soarta multor comunități din țară și din lume depinde din ce în ce mai mult de acest lucru. Deoarece fermierii locali nu au aceleași costuri de transport și distribuție ca marii agribusiness-uri, ei pot păstra mai mult din profitul vânzărilor lor, ceea ce ajută micile agribusiness-uri să devină mai prospere.

Se protejează diversitatea genetică: Multe tipuri de produse cultivate folosesc tehnologii comerciale moderne din anumite lanțuri genetice. În agricultura la scară mică, fermierii pot folosi diferite tipuri de culturi cu multe culori diferite, ceea ce ajută la conservarea diversității genetice a culturilor. Similar, la o fermă mică se pot crește diverse animale, contribuind la creșterea biodiversității și oferind mai multe opțiuni consumatorului [11].



Figura 3: De ce alimentele produse local ar trebui să fie mereu prima opțiune.

Sursa: https://www.green-sail.com/blog/why-locally-produced-food-should-always-be-your-first-choice

Producția locală de alimente poate contribui la crearea de locuri de muncă în zonele rurale, consolidând economia locală. În plus, se asigură o mai mare securitate alimentară, în special pentru

comunitățile din întreaga lume care suferă de foamete și sărăcie. Unele cercetări au descoperit că atunci când fermierii mici devin o prioritate în sectorul alimentar global, comunitățile pot prospera. De asemenea, alimentele locale au adesea un gust mult mai bun decât cele provenite de la fermele industrializate. Sezonul de recoltare începe la vârful maturității, nu devreme, astfel încât produsele să se maturizeze la un timp după ce au fost recoltate. Ca rezultat, alimentele sau produsele locale sunt mai bogate în nutrienți. Ele nu trebuie să călătorească la fel de mult - cu cât hrana stă mai mult, cu atât sunt pierduți mai mulți nutrienți. O schimbare socială către consumul sezonier ar presupune să începem să ne bazăm pe agricultura locală, ceea ce ar ajuta și cu distanța nutritivă. Așa-numitele calendare alimentare sezoniere sunt cunoscute în multe țări, cum ar fi Africa de Sud, unde există EatOut, care oferă infografii ale produselor sezoniere. Thailanda oferă grafice sezoniere Union Fresh cu coduri de culoare pentru alimentele sezoniere. Chiar și în Olanda, există ghiduri alimentare sezoniere și multe opțiuni pentru legume proaspete. Investind acum în fermele locale, comunitățile pot investi în fermele locale și în viitor. Producția locală de alimente sprijină astfel, la rândul său, familiile locale, conservă diversitatea genetică și prezența locală a plantelor, ceea ce înseamnă că fermele viitoare vor fi mai rezistente și mai sănătoase. În viitor, va trebui să ne bazăm mai mult pe agricultura locală dacă industria trebuie să hrănească o populație în creștere și să mențină economia. Fermele mici cresc securitatea alimentară pentru comunitățile sărace și au un impact mai mic asupra mediului. Acestea sunt cauze pe care toată lumea le poate sprijini pe măsură ce populația și cererea continuă să crească.

Bibliografie

1. Intrenational food policy research institute
2. Clapp, J. (2017) Food self-sufficiency: Making sense of it, and when it makes sense. Food policy 66: 88-96
3. Kc, K. B., Pant, L. P., Fraser, E. D., Shrestha, P. K., Shrestha D. (2016) Assessing links between crop diversity and food self-sufficiency in three Copyright@ Jean Pierre Enriquez | Biomed J Sci & Tech Res | BJSTR. MS.ID.005061. Volume 31- Issue 2 DOI: 10.26717/BJSTR.2020.31.005061 23988 agroecological regions of Nepal. Regional Environmental Change 16(5): 1239-1251. 5.
4. Bucagu, C., Vanlauwe, B., Van Wijk, M. T., Giller, K. E. (2014) Resource use and food self-sufficiency at farm scale within two agro-ecological zones of Rwanda. Food security 6(5): 609-628.
5. Falcon, W. P., Naylor, R. L. (2005) Rethinking food security for the twentyfirst century. American Journal of Agricultural Economics, 87(5): 1113-1127.
6. Barrientos, S. D. L., Magana, M. A. (2016) Milpa and backyard contribution to self-sufficiency food in Mayan communities of Yucatan. Social Studies 24(47): 182-203
7. International Journal of Environment and Climate Change 13(3):104-108
8. Urek, G., Knapi, M., Zemljic Urban, I., Škerlavaj, V., Simon, A., Persolja, J., Rak Cizej, M., Radisek, S., Lesnik, M. MOŽNOSTI IN UKREPI ZA ZMANJŠANJE TVEGANJA ZARADI RABE FITOFARMACEVTSKIH SREDSTEV, Zbornik predavanj in referatov 11. Slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo Bled, 5.–6. marec 2013.
9. https://agriculture.ec.europa.eu/news/using-less-chemical-pesticides-european-commission-publishes-toolbox-good-practices-2023-02-28_en
10. https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/integrated-pest-management-ipm_en#principles
11. https://www.green-sail.com/blog/why-locally-produced-food-should-always-be-your-first-choice

5. Creșterea animalelor în condiții de schimbare climatică: impact, limitarea efectelor și adaptare

Dr. Dušica Ostojić Andrić

Cuprins

- Impactul direct al schimbărilor climatice asupra producției de animale,
- Impactul indirect al schimbărilor climatice asupra producției de animale,
- Efectele directe ale producției de animale asupra emisiilor de gaze cu efect de seră (GES),
- Efectele indirecte ale producției de animale asupra emisiilor de GES,
- Strategii de limitare a efectelor,
- Strategii de adaptare a animalelor - răspunsuri ale animalelor,
- Strategii de adaptare a oamenilor,
- Posibilități pentru încurajarea și implementarea strategiilor de limitare a efectelor negative și adaptare.

Introducere

Climatul afectează numărul de animale, producția lor, performanța reproductivă, morbiditatea și mortalitatea, precum și oferta alimentară în general. Este dificil să se extindă producția în timp ce se reduc impacturile climatice și emisiile de gaze cu efect de seră (GES) din cauza relației dintre nevoia de creștere a producției de animale și efectele continue ale schimbărilor climatice. Gradul de expunere, determinat de durata, frecvența și magnitudinea acestor schimbări, precum și resursele disponibile (locul, condițiile de adăpost și hrănire, alimentarea cu apă etc.), afectează sensibilitatea animalelor față de schimbările climatice. Nivelul de îngrijire medicală (de exemplu, rata de vaccinare) și diferențele specifice rasei joacă de asemenea un rol semnificativ. Există indicii conform cărora numărul și distribuția animalelor pot fi afectate de schimbările climatice, în special în rasele adaptate local, care sunt întreținute în principal în condiții extensive.

Din toate cele de mai sus, este clar că complexitatea problemei prezentate necesită o abordare serioasă și temeinică, care se bazează în primul rând pe înțelegerea efectelor schimbărilor climatice asupra producției animalelor, împreună cu cunoașterea posibilităților de limitare a efectelor negative și adaptare a acestora.



Impactul direct al schimbărilor climatice asupra producției animaliere: stresul termic, consumul de hrană, producția, reproducerea, sănătatea și mortalitatea

Produsele și serviciile legate de creșterea animalelor sunt esențiale pentru oameni. Aproximativ un sfert din terenul din lume care nu este acoperit de gheață este ocupat de animale, iar o treime din terenul arabil este folosit pentru a cultiva plante pentru hrana animalelor [1]. O treime din populația lumii se bazează pe creșterea animalelor ca sursă de venit, contribuind cu aproximativ 40 % din PNB-ul agricol mondial [2]. La nivel mondial, produsele de origine animală reprezintă o treime din proteine, o cincime din calorii și o parte semnificativă din resursele de B12, fier și calciu pe care le consumă oamenii. Cererea de produse de origine animală crește odată cu creșterea populației globale. Dar, pe măsură ce clima se schimbă la nivel global, creșterea animalelor resimte din ce în ce mai mult efectele acestor schimbări. Aceste implicații includ creșterea temperaturilor, modele de precipitații mai variate, creșterea numărului de evenimente extreme și creșterea nivelului de dioxid de carbon [3].

Kummu și colaboratorii [4] preconizează că o treime din producția mondială agricolă și peste 30% din producția animală ar putea fi deplasate în afara condițiilor climatice stabile până în 2081-2100, dacă încălzirea nu se limitează la 1,5-2°C. În principiu, există efecte directe și indirecte ale schimbărilor climatice [5]. Schimbările climatice și efectele CO_2 asupra metabolismului animalelor de fermă, a funcției imunitare și a reglării temperaturii sunt denumite impacturi directe. Efectele indirecte rezultă din impactul climatic asupra hranei pentru animale, a accesibilității apei și a comunităților de dăunători/patogeni.

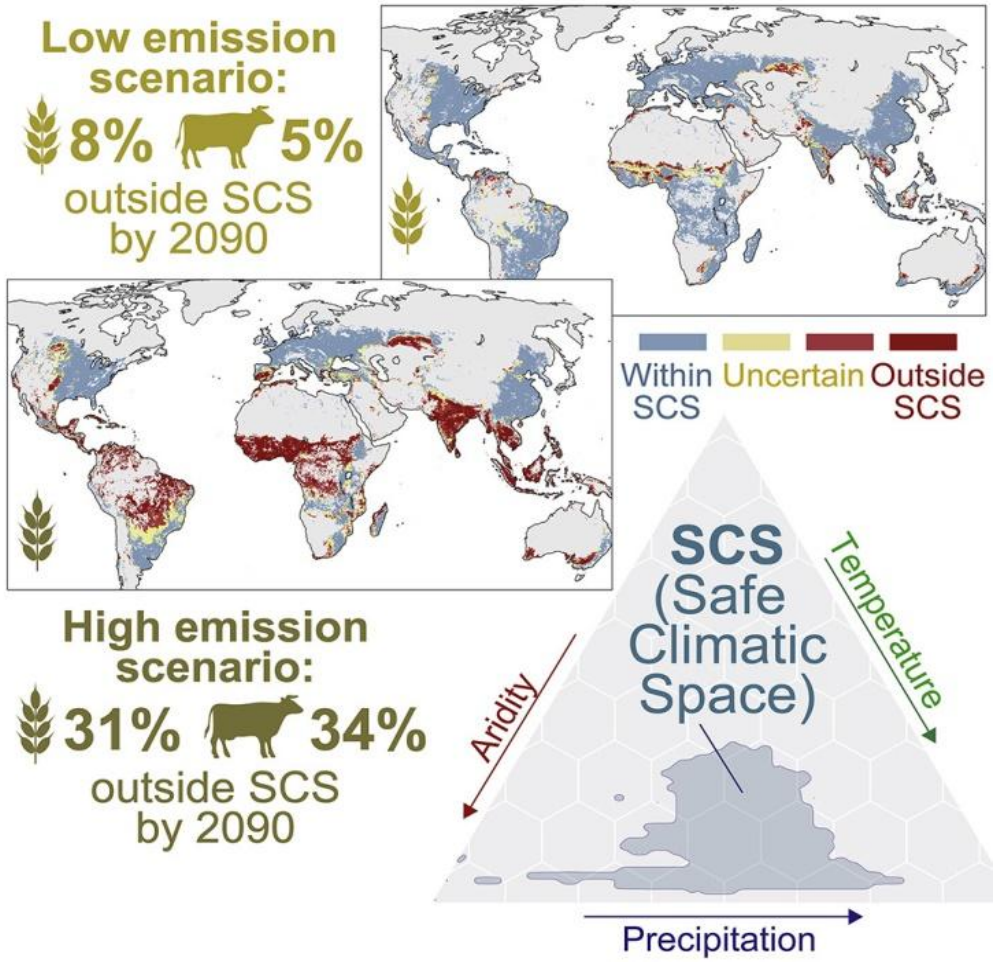


Figura 1. Scenariul emisiilor mari și mici de gaze cu efect de seră și impactul acestora asupra producției animaliere [4].

Stresul termic

Performanța de producție a animalelor depinde în mare măsură de condițiile de mediu în care sunt crescute. Raportul optim între temperatură, umiditate și fluxul de aer este numit zona de confort termic și este specific fiecărei specii. În această zonă, animalul poate atinge performanțe optime de producție cu un consum minim de energie [5]. Când temperatura depășește acest interval, apare stresul termic, iar organismul animalului cheltuie energie suplimentară pentru a-și regla temperatura corpului, ceea ce afectează negativ productivitatea. Dacă animalul oferă un răspuns fenotipic adecvat la efectul stresorului termic, spunem că s-a adaptat, adică s-a aclimatizat [3]. Stresul termic cauzat de temperaturi ridicate este o problemă mai mare și are un efect mai mare decât stresul cauzat de temperaturi scăzute. În contextul schimbărilor climatice, creșterea globală a temperaturii înseamnă că se acordă o importanță mai mare stresului termic cauzat de efectele temperaturilor ridicate. Prin urmare, stresul termic este considerat în general subiectul dominant în ceea ce privește stresul termic.

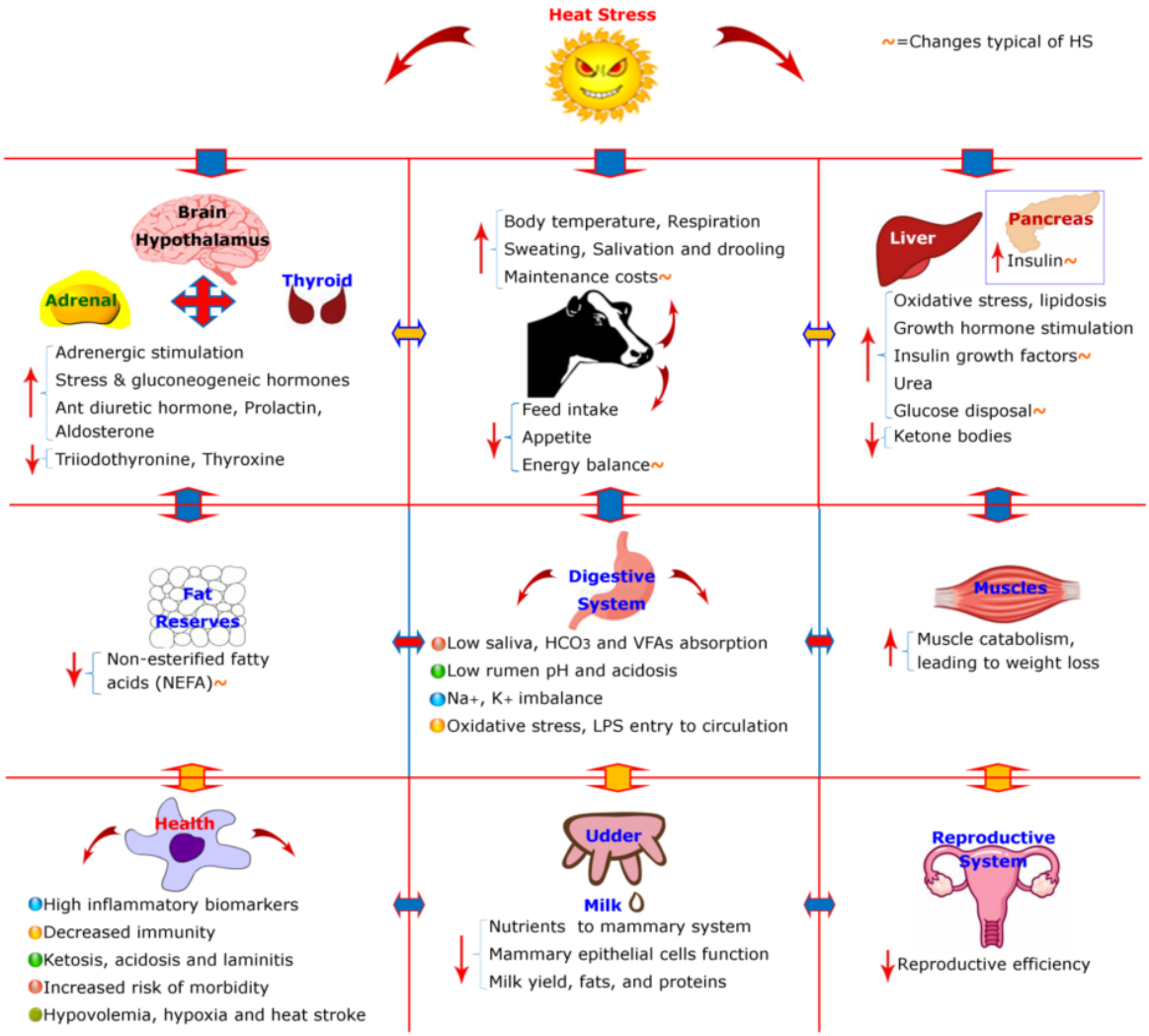


Figura 2. O prezentare generală a modificărilor fiziologice și biochimice provocate de stresul termic în diferite sisteme corporale ale vacilor de lapte. Modificările tipice pentru animalele aflate în condiții de căldură extremă sunt indicate prin simbolul „~”. Lipopolizaharide (LPS) și acizi grași volatili (AGV) [7].

Când animalele nu pot pierde suficientă căldură pentru a-și menține constantă temperatura corpului, apare stresul termic [7]. După "supraîncălzire", apare o respirație accelerată și tahicardie, împreună cu o creștere a temperaturii corpului. Ca rezultat, pot apărea modificări ale funcționării sistemului imunitar, o scădere a consumului de hrană, a producției de lapte și a eficacității reproductive, putând

duce la moarte. Un rezumat al diferitelor modificări fiziologice și biochimice asociate cu stresul termic care apar la diferite niveluri sistemice în corpul vacilor de lapte este prezentat în Figura 2.

Când se iau în considerare problemele legate de schimbările climatice, este important să se sublinieze adaptabilitatea animalelor. Mecanismele de compensare și adaptare care sunt activate în timpul stresului termic joacă un rol important. Deși inițierea lor poate duce la o scădere a productivității animalelor, obiectivul principal pentru supraviețuire este reprezentat de atingerea homeotermiei și a homeostaziei. În timpul stresului termic, sistemul umoral joacă un rol crucial în reglarea homeostaziei prin axa hipotalamo-hipofizo-suprarenaliană. Principalul rezultat al acestei interacțiuni este reducerea nivelului de hormon de creștere și tiroxină, ceea ce reduce activitatea metabolismului bazal. Există modalități la nivel celular de a rezista efectelor schimbărilor climatice, de exemplu genele. Pe baza așa-numitelor proteine de șoc termic, care joacă un rol crucial în adaptarea la stresul termic, au fost identificate și gene corespondente responsabile de aclimatizare la nivel celular. În genomul animalelor care trăiesc în climat cald, astfel de gene sunt mai frecvente, ceea ce în viitor poate fi baza unor metode biotehnologice avansate pentru a modifica genotipul în vederea adaptării la schimbările climatice [8].

Consumul de furaje

Unul dintre răspunsurile la un mediu cald este scăderea aportului alimentar. Creșterea stresului termic la rumegătoare a fost legată de reducerea foamei, a vitezei intestinale și a rumegării [9]. Pe măsură ce temperatura ambientală crește peste 25-26°C, și mai ales peste 30°C, consumul de hrană scade la vacile de lapte [10].

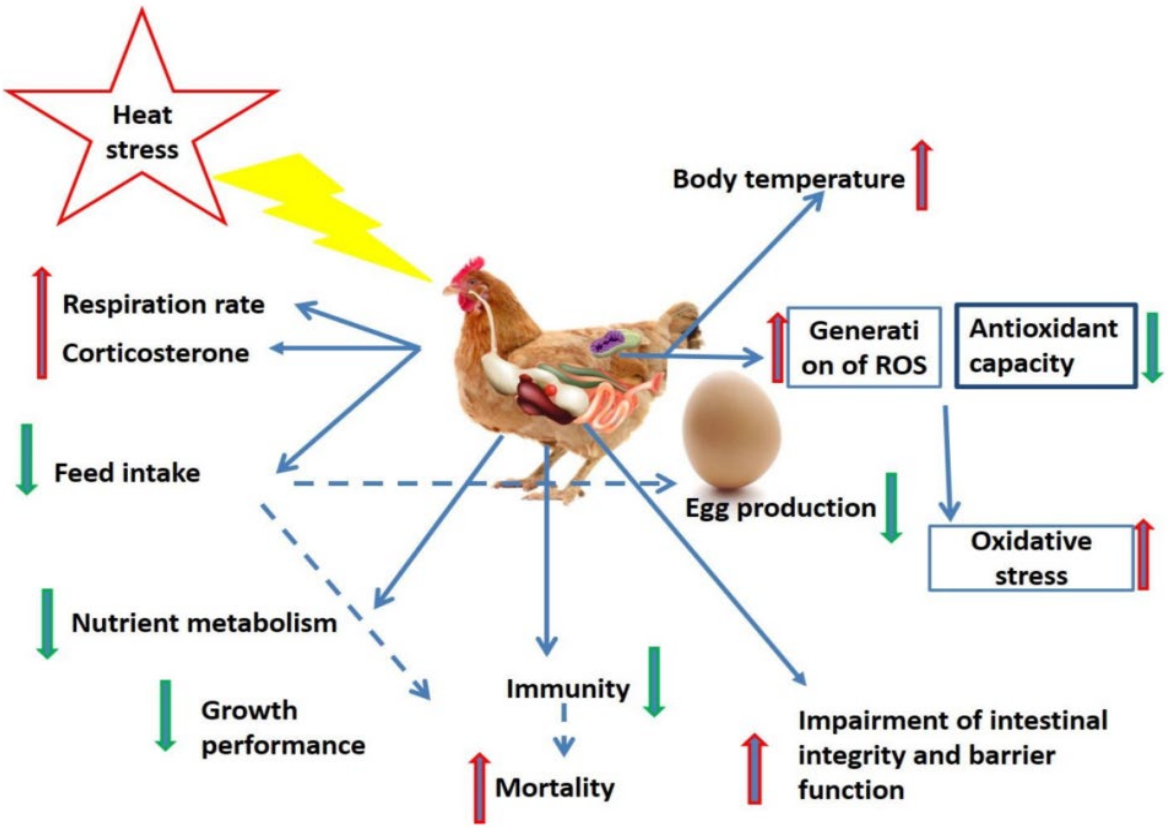


Figura 3. Efectele stresului termic asupra păsărilor de curte [15].

În comparație cu alte rumegătoare, caprele sunt mai puțin vulnerabile la stresul termic. Cu toate acestea, atunci când temperatura exterioară depășește cu mai mult de 10°C zona lor de confort termic, consumul voluntar de hrană scade [11]. Atunci când temperatura crește de la 20 la 35 °C, porcii supuși

stresului termic au temperaturi corporale mai ridicate, iar consumul de hrană scade cu aproximativ 11% [12]. Astfel de efecte persistă chiar și după încetarea expunerii animalelor la stresul termic. Prin urmare, s-a propus ca hrănirea dimineața devreme să contribuie la prevenirea reducerii consumului de hrană [13].

S-a constatat, de asemenea, că păsările de curte au un consum redus de hrană la temperaturi ridicate. O creștere a temperaturii de aproximativ 10°C la păsările de curte de la ecloziune până la vârsta de 6 săptămâni a dus la o reducere a consumului de hrană de aproape 10% [14]. În consecință, acest lucru s-a reflectat în reducerea eficienței conversiei furajelor și a câștigului zilnic [15]. Relațiile date sunt prezentate în Figura 3.

Producție

În general, la toate speciile de animale, reducerea consumului de hrană din cauza stresului termic duce la reducerea producției de lapte, carne și ouă, ceea ce, duce la pierderi financiare. Vacile de lapte supuse stresului termic reduc cantitatea de materie uscată ingerată, ceea ce explică aproximativ 35% din reducerea producției de lapte [16]. În plus, rasele mai productive prezintă o sensibilitate mai mare la stresul termic decât rasele cu o producție mai mică, deoarece acestea emit mai multă căldură metabolică datorită dimensiunii lor mai mari. În consecință, odată cu creșterea producției de căldură metabolică cauzată de stresul termic, se înregistrează o scădere a producției de lapte. Stresul termic moderat în timpul lactației provoacă reduceri ale consumului de hrană, modificări metabolice și compromiterea formării glandelor mamare la vacile de lapte, ceea ce duce la o producție de lapte cu 25-40% mai mică [17].

Pe lângă căldură, producția și compoziția laptelui este afectată și de umiditatea mediului, adică de interacțiunea acestor factori exprimată prin indicele căldură-umiditate (THI). S-a constatat că vacile care alăptează încep să sufere de stres termic atunci când valorile acestui indice sunt mai mari de 72, iar conținutul de proteine și grăsime din lapte scade odată cu creșterea acestuia. Conținutul de lactoză și proteine poate fi cu aproximativ 49% mai mic ca urmare a stresului termic [18]. Modificări similare în compoziția laptelui au fost constatate și la rasele de lapte de capră și bivoliță, dar într-un număr redus de studii. Astfel, la capre, sub influența temperaturii ridicate, s-a observat o scădere de 12%, 3-10% și 4% a creșterii, producției de lapte și, respectiv carne [11, 19, 20].

Probabil din cauza modificării sintezei hormonale placentare și a scăderii aportului de materie uscată [22], stresul termic din ultimele 50 de zile de gestație la vacile de lapte afectează dezvoltarea fătului și scade colostrul și producția de lapte [21].

Studiile au arătat că stresul termic afectează negativ producția de carne [23]. La rumegătoarele aflate sub influența stresului termic, se înregistrează o încetinire a dezvoltării, scăderii greutății carcasei și a grosimii țesutului adipos, urmată de o calitate mai scăzută a cărnii [24]. Există indicii că stresul termic, prin scăderea consumului de hrană și disponibilitatea redusă a glicogenului în mușchi, se poate reflecta în apariția cărnii de culoare închisă [25]. Cu toate acestea, studiile au arătat că rumegătoarele mici (capre și oi), comparativ cu cele mari, prezintă o adaptare mai mare la un mediu cald și umed [26]. Bovinele crescute în ferme de furajare reprezintă o categorie semnificativ mai vulnerabilă, deoarece captivitatea le limitează capacitatea de răcire adecvată (umbră, apă, vânt), precum și datorită expunerii la suprafețe radiante rugoase și hrănirii cu nutrienți cu conținut energetic ridicat [3].

La fel ca la rumegătoare, porcii înregistrează o reducere a creșterii, a greutății carcasei, a conținutului de grăsime intramusculară și a calității cărnii atunci când sunt expuși la temperaturi ridicate. S-a constatat că câștigul zilnic la porci poate scădea cu 10% sub influența temperaturilor ridicate [27]. Răspunsul fiziologic și consecințele stresului termic la porci sunt prezentate schematic în Figura 4. În mod tradițional, se credea că aceste modificări se datorează reducerii aportului de hrană, dar studii

recente au arătat că stresul termic în sine reduce, de asemenea, rata metabolică și modifică metabolismul post-absorbție, fără a ține cont de reducerea aportului alimentar [28].

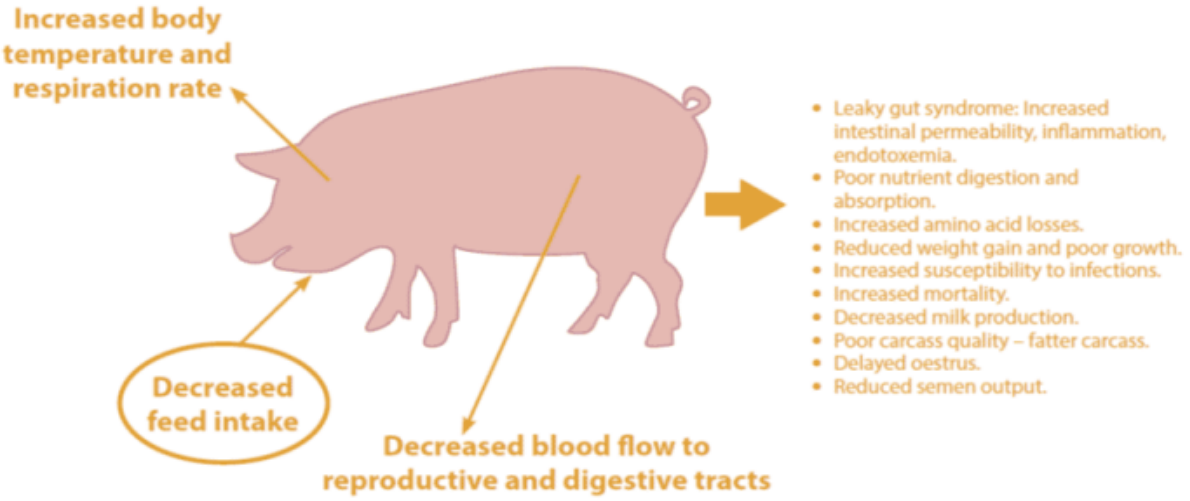


Figura 4. Răspunsul fiziologic și consecințele stresului termic la porci (adaptare după Artuso-Ponte, 2018 din All About Feed). https://www.chemunique.co.za/swine/preventing-heat-stress-in-pigs/

Păsările de curte care se confruntă cu stresul termic consumă mai multă energie pentru a menține homeostazia termică, în detrimentul creșterii. La puii de carne supuși stresului termic, s-a constatat o scădere a creșterii, a ratei de conversie a hranei, a masei musculare din piept și a conținutului de proteine din carne [14, 15]. Trăsăturile care au demonstrat cel mai înalt nivel de vulnerabilitate la stresul termic la găinile ouătoare au fost rezistența cojii de ou, consumul zilnic de hrană, masa ouălor și producția de ouă [15, 29].

Reproducerea

Ambele sexe sunt influențate de stresul termic în ceea ce privește reproducerea. Stresul termic scurtează ciclul de estru și scade fertilitatea la femele, crescând în același timp apariția anestrului și a mortalității prenatale. Masculii care suferă de stres termic au o calitate mai slabă a spermei, testicule mai mici și un material seminal mai puțin fecund în general. Ambele sexe au prezentat schimbări sezoniere semnificative în ceea ce privește eficiența reproductivă [30, 31].

Deși reproducerea păsărilor de curte este, de asemenea, afectată de stresul termic, se pare că există unele diferențe în comparație cu performanța constatată la mamifere. Puii de carne masculi sunt mai sensibili la infertilitatea indusă de căldură decât femelele [30]. La găinile ouătoare, stresul de mediu poate întârzia procesul de ovulație, poate reduce calitatea gălbenușului și poate afecta producția de ouă [31].

Performanța reproductivă redusă a raselor de lapte și de carne în timpul verii poate fi deosebit de costisitoare pentru producător. Vacile de lapte în gestație și cele care alăptează sunt în special predispuse la creșterea căldurii metabolice din cauza dietelor cu conținut energetic ridicat, a consumului ridicat de hrană și a activității metabolice necesare pentru digestie și producția de lapte (Figura 5). Acești factori pot reduce rata de concepție cu 10-20%, dar pot provoca și pierderi în timpul sarcinii [32]. Corelația dintre THI și rata pierderilor de gestație este prezentată în Figura 6 [33].

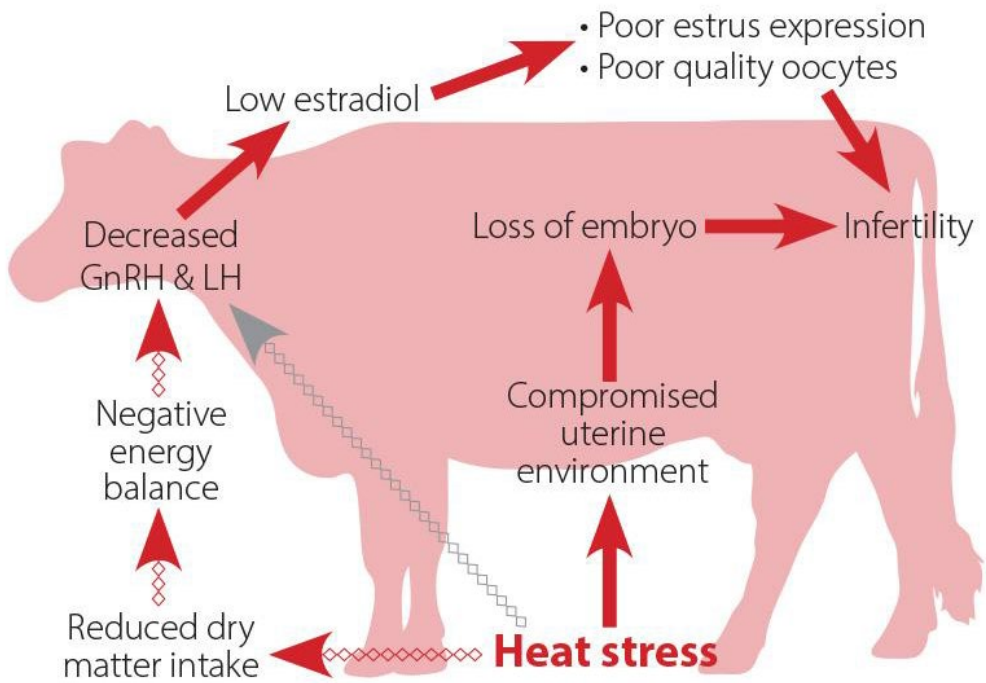


Figura 5. Efectul stresului termic asupra tulburărilor de reproducere la vaci. (https://www.techmixglobal.com/repro-heat-stress/)

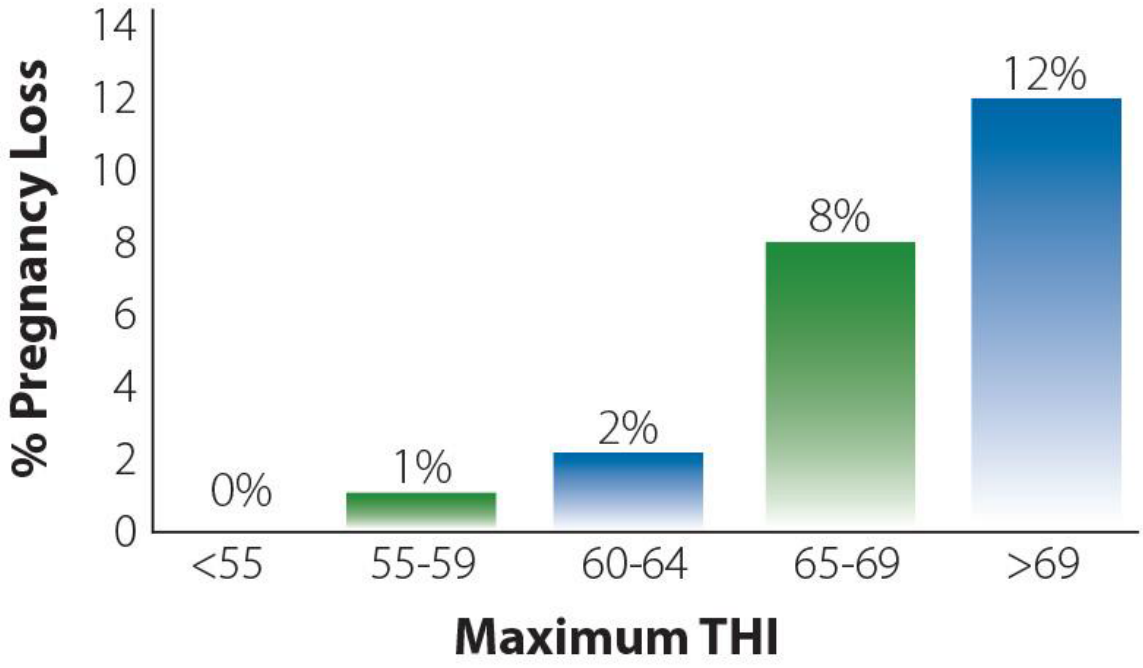


Figura 6. Relația dintre THI și rata de pierdere a sarcinii [33].

Expunerea pe termen scurt și pe termen lung la stresul termic afectează în mod semnificativ fertilitatea ovinelor și reduce producția de material seminal și calitatea berbecului, ceea ce duce la mai puțini miei per oaie (figura 7). De asemenea, o scădere a greutății corporale a mieilor la naștere și o dezvoltare mai slabă a glandelor mamare ale oilor ca urmare a stresului termic din timpul sarcinii pot limita supraviețuirea și reduce greutatea mieilor la înțărcare [34].

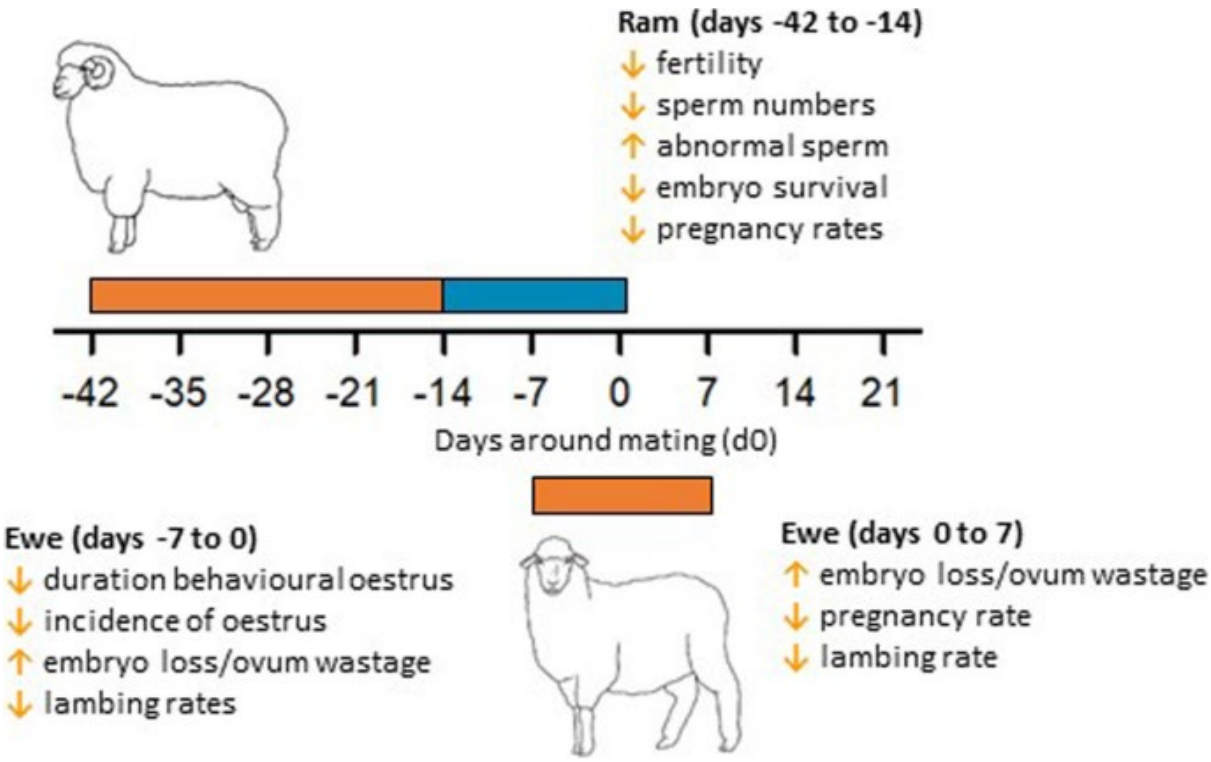


Figura 7. Impactul stresului termic înainte și pe parcursul sezonului de împerechere asupra fertilității berbecilor și oilor. Temperaturile temporale normotermice (albastru) și hipertermice (portocaliu) înainte de împerechere [34].

Sănătate

Schimbările climatice, în special încălzirea globală, afectează sănătatea animalelor în mod direct și indirect [3]. În această secțiune, vor fi abordate bolile cauzate de acțiunea ambelor influențe, deoarece acestea au cu siguranță legătură cu sănătatea animalelor. Printre efectele directe se numără bolile transmise prin vectori, precum și cele cauzate de apă (de exemplu, inundații), sol, temperatură și umiditate, sau transmise de rozătoare. Schimbările climatice pot duce la conversia utilizării terenurilor și la perturbarea diversității biologice, ceea ce duce la diverse schimbări adaptative la animale. În plus, efectele indirecte ale schimbărilor climatice asupra sănătății animalelor sunt considerate a fi cele care duc la modificarea comunităților microbiene, la modificări ale răspunsului imunitar și general al gazdei la agenții patogeni, la înfometare și la intoxicații alimentare.

Intensitatea impactului schimbărilor climatice asupra sănătății animalelor depinde de mai mulți factori, cum ar fi genotipul, rezistența specifică și nespecifică la boli a animalelor, zonele de creștere, precum și de caracteristicile agenților patogeni [3]. Sistemul imunitar joacă un rol esențial în asigurarea unei sănătăți adecvate, dar stresul termic poate perturba semnificativ funcția sa de apărare [35]. Temperaturile ridicate și schimbările în regimul precipitațiilor favorizează dezvoltarea și răspândirea agenților patogeni și, în consecință, pot modifica distribuția acestora și pot duce la apariția unor noi boli [36]. Ca urmare a efectului imunosupresor al stresului termic, efectivele de animale devin mai sensibile la boli, ceea ce duce la o creștere a ratelor de morbiditate și mortalitate în efectivele de animale [3].

Stresul termic poate afecta sănătatea animalelor și în alte moduri. Astfel, sub influența a câteva ore de stres termic, porcii pot dezvolta simptome de tulburări gastro-intestinale [37]. Expunerea la temperaturi ambientale ridicate la puii de carne și găinile ouătoare duce la modificări nefavorabile ale microbiomului intestinal [38].

Este important de remarcat faptul că, în special în țările în curs de dezvoltare, impactul schimbărilor climatice asupra apariției bolilor la animale este mai dificil de evaluat în comparație cu alte impacturi [3].

Mortalitatea

Mortalitatea crescută a animalelor de fermă ca urmare a stresului termic poate avea un efect economic negativ semnificativ. Tensiunea termică excesivă crește rata mortalității, conform studiilor efectuate la porci și vaci de lapte [39]. S-a constatat, de asemenea, că vremea caldă și umedă reprezintă o amenințare mai mare pentru viața vacilor și a porcilor decât vremea uscată și caldă, iar temperaturile de peste 37,7°C cu niveluri de umiditate de peste 50% sunt periculoase [40].

În comparație cu mamiferele, păsările de curte au o temperatură corporală mai ridicată și mai fluctuantă și sunt, de asemenea, mai sensibile la stresul termic. O temperatură ambientală de până la 27°C sau o temperatură corporală de până la 41°C poate fi considerată adecvată pentru creșterea puilor. Cu toate acestea, rezultatele letale pentru găini apar atunci când temperatura corpului crește cu 4°C [41].

Bibliografie

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Livestock and Landscapes: Sustainability Pathways. Food and Agriculture Organizations of the United Nations. Available online: https:/ /www.fao.org/3/ar59le/ ar59le.pdf (accesat pe 16 August 2022).
2. Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Clim. Risk Manag. 16, 145-163.
3. Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022). Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. Atmosphere 13, 140. https://doi.org/10.3390/atmos13010140
4. Kummu, M., Heino, M., Taka, M., Varis, O., Viviroli, D. (2021). Climate change risks pushing one-third of global food production outside the safe climatic space, One Earth 4, 5, 720-729. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.017.
5. Collier, R. J., Baumgard, L. H., Zimbelman, R. B., Xiao, Y. (2019). Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. Anini. Front. 9, 12-19.
6. Maibam, U., Hooda, O. K., Sharma, P. S., Upadhyay, R. C., Mohanty, A. K. (2018). Differential level of oxidative stress markers in skin tissue of zebu and crossbreed cattle during thermal stress. Livest. Sci. 207, 45-50.
7. Sammad, A., Wang, Y. J., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B., Wang, Y. (2020). Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities. Animals 10, 793.
8. Collier, R. J., Gebremedhin, K., Macko, A. R., Roy, K. S. (2012). Genes involved in the thermal tolerance of livestock. In: Environmental stress and amelioration in livestock production. Sejian, V., Naqvi, S. M. K., Ezeji, T., Lakritz, J. and Lal, R. (Eds), Springer-Verlag GMbH Publisher, Germany, 379-410.
9. Yadav, B., Singh, G., Verma, A. K., Dutta, N., Sejian, V. (2013). Impact of heat stress on rumen functions. Vet. World 6, 992-996.
10. Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2022). Heat stress in lactating dairy cows: A review. Livest. Prod. Sci. 77, 59-91.
11. Salama, A. A. K., Caja, G., Hamzaoui, S., Badaoui, B., Castro-Costa, A., Façanha, D. A. E., Guilhermino, M. M., Bozzi, R. (2014). Different levels of response to heat stress in dairy goats. Small Rumin. Res. 121, 73–79.
12. Lopez, J., Jesse, G. W., Becker, B. A., Ellersieck, M. R. (1991). Effects of temperature on the performance of finishing swine: I. Effects of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake, and feed efficiency. J. Anim. Sci. 69, 1843-1849.

13. Cervantes, M., Antoine, D., Valle, J. A., Vasquez, N., Camacho, R. L., Bernal, H., Morales, A. (2018). Effect of feed intake level on the body temperature of pigs exposed to heat stress conditions. J. Therm. Biol. 76, 1-7.
14. Shakeri, M., Cottrell, J. J., Wilkinson, S., Ringuet, M., Furness, J. B., Dunshea, F. R. (2018). Betaine and Antioxidants Improve Growth Performance, Breast Muscle Development and Ameliorate Thermoregulatory Responses to Cyclic Heat Exposure in Broiler Chickens. Animals 8, 162.
15. Shehata, A. M., Saadeldin, I. M., Tukur, H. A., Habashy, W. S. (2020). Modulation of Heat-Shock Proteins Mediates Chicken Cell Survival against Thermal Stress. Animals 10, 2407.
16. Rhoads, M., Rhoads, R., VanBaale, M. J., Collier, R., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A., Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. J. Dain; Sci. 92, 1986-1997.
17. Tao, S., Dahl, G., Laporta, J., Bernard, J. (2018). Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf. J Anim Sci. 96. https://doi.org/10.1093/jas/skz061.
18. Garner, J. B., Douglas, M., Williams, S. R. O., Wales, W. J., Marett, L. C., Di Giacomo, K., Leury, B. J., Hayes, B. J. (2017). Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers. Anim. Prod. Sci. 57, 1233–1241.
19. Pragna, P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., Soren, N. M., Beena, V., Bhatta, R. (2018). Comparative assessment of growth performance of three different indigenous goat breeds exposed to summer heat stress. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 102, 825–836.
20. Hashem, M. A., Hossain, M. M., Rana, M. S., Islam, M. S., Saha, N. G. (2013). Effect of heat stress on blood parameter, carcass and meat quality of Black Bengal goat. Bangladesh J. Anim. Sci. 42, 57–61.
21. Dado-Senn, B., Skibiel, A. L., Fabris, T. F., Dahl, G. E., Laporta, J. (2019). Dry period heat stress induces microstructural changes in the lactating mammary gland. PloSOne 14
22. Dahl, G. E., Tao, S., Laporta, J. (2017). Triennial Lactation Symposium/Bolfa: Late gestation heat stress of dairy cattle programs dam and daughter milk production. J Anim Sci. 95
23. Gonzalez-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R., Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. Meat Sci. 162, 108025
24. Summer, A., Lora, I., Formaggioni, P., Gottardo, F. (2019). Impact of heat stress on milk and meat production. Anim. Front. 9, 39-46
25. Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., Gaughan, J. B. (2019). The Impact of Heat Load on Cattle. Animals 9, 322.
26. Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., Ma, Y. (2019). Adaptation Mechanisms of Small Ruminants to Envirornnental Heat Stress. Animals 9, 75.
27. da Fonseca de Oliveira, A. C., Vanelli, K., Sotomaior, C. S., Weber, S. H., Costa, L. B. (2019). Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: A meta-analysis. Vet. Res. Commun. 43, 37-43.
28. Ma, X., Wang, L., Shi, Z., Shi, Z., Chen W., Yang, X., Hu, Y., Zheng, C., Jiang, Z. (2019). Mechanism of continuous high temperature affecting growth performance, meat quality, and muscle biochemical properties of finishing pigs. Genes. Nutr. 14, 23.
29. Oguntunji, A. O., Alabi, O. M. (2010). Influence of high environmental temperature on egg production and shell quality: A review. World's Poult. Sci. J. 66, 739-750.
30. Nawab, A., Ibtisham, F., Li, G., Kieser, B., Wu, J., Liu, W., Zhao, Y., Nawab, Y., Li, K., Xiao, M., An, L. (2018). Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. J. Therm. Biol. 78, 131-139.
31. Ayo, J. O., Obidi, J. A., Rekwot, P. I. (2011). Effects of Heat Stress on the Well-Being, Fertility, and Hatchability of Chickens in the Northern Guinea Savannah Zone of Nigeria: A Review. ISRN Vet. Sci. 14, 838606.
32. Hansen, P. J. (1997). Effects of environment on bovine reproduction. (p403-415) In: Current Therapy in Large Animal Theriogenology. R. S. Youngquist (Ed). W. B. Saunders, Philadelphia.

33. García-Ispierto, I., López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J.L., Nogareda, C., López-Béjar, M., De Rensis, F. (2006). Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. Theriogenology 65, 799-807.
34. van Wettere, W. H. E. J., Kind, K. L., Gatford, K. L., Swinbourne, A. M., Leu, S. T., Hayman, P. T., Kelly, J. M., Weaver, A. C., Kleemann, D.O., Walker, S. K. (2021). Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. J Animal Sci Biotechnol 12, 26.
35. Bagath, M., Krishnan, G., Devara, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A. M., Sejian, V. (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. Res. Vet. Sci. 126, 94-102
36. Paull, S. H., Raffel, T. R., La Fonte, B. E., Johnson, P. T. J. (2015). How temperature shifts affect parasite production: Testing the roles of thermal stress and acclimation. Funct. Ecol. 29, 941-950.
37. Pearce, S. C., Sanz-Fernandez, M. V., Hollis, J. H., Baumgard, L. H., Gabler, N. K. (2014). Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. J. Anim. Sci. 92, 5444-5454.
38. Zhu, L., Liao, R., Wu, N., Zhu, G., Yang, C. (2019). Heat stress mediates changes in fecal microbiome and functional pathways of laying hens. Appl. Microbial. Biotechnol. 103, 461-472.
39. Vitali, A., Felici, A., Esposito, S., Bernabucci, U., Bertocchi, L., Maresca, C., Nardone, A., Lacetera, N. (2015). The effect of heat waves on dairy cow mortality. J. Dairy Sci. 98, 4572-4579.
40. Jeffrey, F., Keown, R. J. G. (2022). How to Reduce Heat Stress in Dairy Cattle. University of Missouri Extension. Available online: https://extension.missouri.edu/publications/g3620
41. Saeed, M., Abbas, G., Alagawany, M., Kamboh, A. A., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Chao, S. (2019). Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. J. Therm. Biol. 84, 414-425.

Impactul indirect al schimbărilor climatice asupra producției de animale: calitatea furajelor, apă, variații sezoniere și evenimente climatice extreme

Diferite scenarii privind schimbările climatice prevăd o creștere a temperaturii de la 1,1°C la 6,4°C până la sfârșitul acestui secol [1]. Alături de încălzirea globală, schimbările în regimul precipitațiilor și fenomenele climatice extreme tot mai frecvente reprezintă un potențial pericol pentru asigurarea hranei și a apei în creșterea animalelor de fermă. Pe lângă efectele directe discutate în capitolul anterior, trebuie luate în considerare și efectele indirecte ale schimbărilor climatice asupra fertilității și degradării solului, a disponibilității apei, a randamentului, calității și disponibilității furajelor, precum și a răspândirii agenților patogeni.

Calitatea furajelor

O nutriție adecvată este esențială pentru sănătatea animalelor, pentru creșterea, producția și reproducerea lor. Creșterile CO_2 atmosferic și ale temperaturii, ca parte a schimbărilor climatice, modifică cantitatea și calitatea furajelor, intensitatea acestor schimbări depinzând de sistemul de creștere a animalelor, de locație și de specie [2]. În plus față de cele menționate mai sus, factorii de influență semnificativi sunt modelele de precipitații, fenomenele climatice extreme, variațiile în producție și aprovizionarea cu apă.

Impactul direct al schimbărilor climatice asupra nutriției animalelor (aportul alimentar și procesele digestive) a fost deja discutat. Indirect, schimbările climatice pot afecta nutriția animalelor prin modificări ale caracteristicilor fizice și chimice ale plantelor care fac parte din hrana animalelor. În acest fel, schimbările climatice afectează și calitatea hranei pentru animale (cereale și furaje grosiere). În funcție de gradul de încălzire și de severitatea secetei, plantele răspunzând la stresul termic în moduri diferite din punct de vedere fizic și chimic. Fibrele detergente acide și neutre, proteina brută, azotul, carbohidrații solubili în apă și mineralele (Ca, P, Mg, K) sunt parametrii nutriționali tipici luați în considerare atunci când se discută despre calitatea furajelor [3].

Variațiile concentrațiilor de azot și de carbohidrați solubili în apă sunt influențate de condițiile de uscăciune și de temperaturile ridicate [4]. Condițiile meteorologice extreme determină îmbătrânirea prematură a țesuturilor, ceea ce poate scădea dramatic calitatea furajului. Mai exact, plantele se maturizează mai repede, iar conținutul de apă din țesuturile lor se reduce mai repede chiar și în condiții de stres termic ușor. Lignificarea și o creștere a raportului tulpină/frunză afectează în mod negativ digestibilitatea și calitatea furajului. Lee și colaboratorii [5] avertizează că o creștere a temperaturii reduce valoarea nutritivă a hranei pentru animale, ceea ce poate duce la o producție mai mare de metan. Cu toate acestea, în anumite circumstanțe (valori mai mari de CO_2), efectul temperaturilor ridicate poate fi inversat, adică digestibilitatea poate crește, ceea ce indică complexitatea interacțiunii dintre factorii climatici [6-7]. Figura 1 prezintă influența medie a CO_2 ridicat asupra principalilor indicatori ai calității furajului la diferite grupe de plante [7].

Literatura de specialitate care studiază impactul schimbărilor climatice asupra producției vegetale este foarte vastă, un aspect aparte reprezentându-l efectele schimbărilor climatice care se reflectă exclusiv asupra furnizării de furaje consumate de animale.

Furajul poate fi definit ca fiind „părțile comestibile ale plantelor care pot oferi hrană pentru animalele care pășunează sau care pot fi recoltate pentru hrană” [8]. Leguminoasele și ierburile constituie cele două tipuri principale de plante furajere. Pe baza anatomiei frunzelor, plantele pot fi împărțite în grupe de anotimpuri reci (C3) și calde (C4) [9]. S-a constatat că CO_2 afectează creșterea culturilor. În timp ce randamentele culturilor C4 (porumb și sorg) pot să nu răspundă direct la un nivel ridicat de CO_2, dar pot beneficia indirect de secetă, randamentele culturilor C3 (soia și grâu) se îmbunătățesc la concentrații crescute de CO_2. Precipitațiile, temperatura și condițiile meteorologice extreme, cum ar fi

seceta, sunt alte variabile climatice care influențează disponibilitatea furajelor. Pentru orez, soia, sorg și porumb, mai multă ploaie este avantajoasă [10-11]. Creșterile de temperatură favorizează mai mult speciile C4, însă aceste beneficii variază în funcție de locație, de speciile de plante și de tehnologia de producție [12].

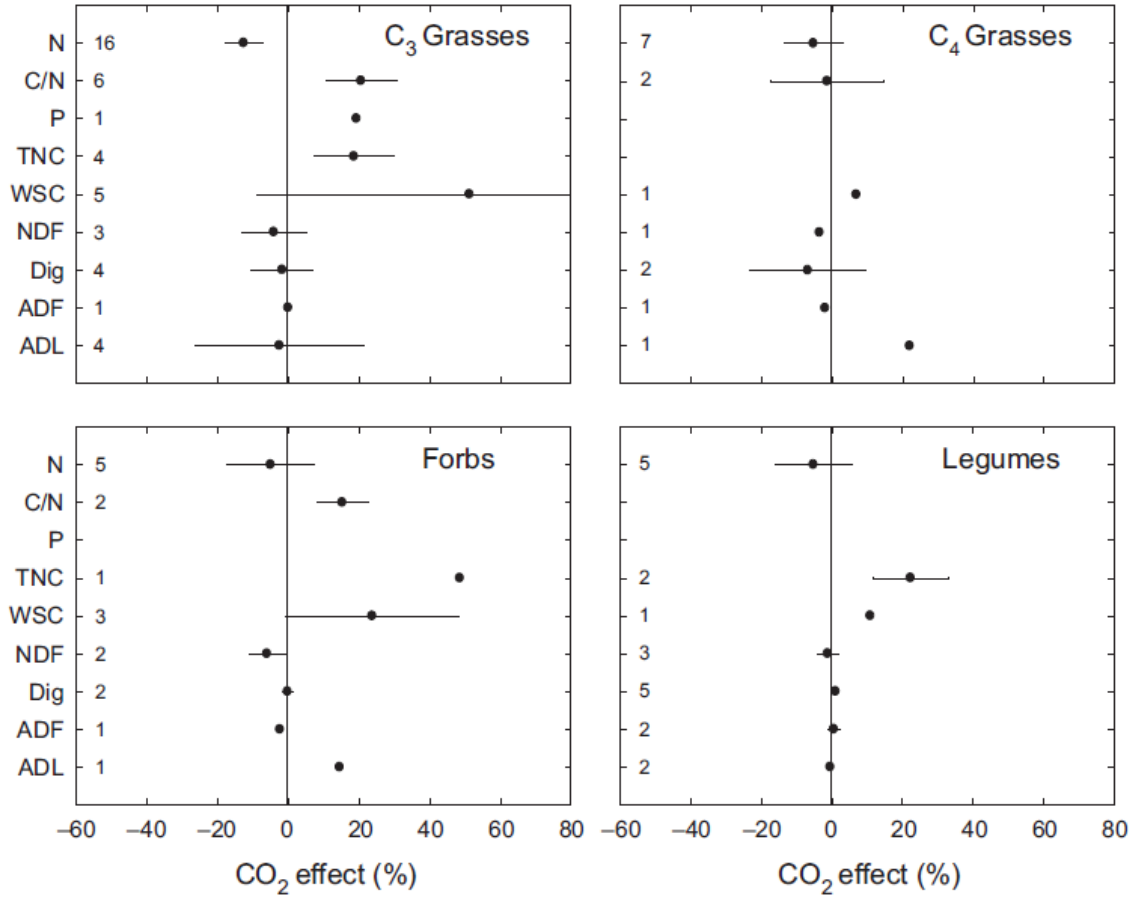


Figura 1. Efectul mediu al creșterii CO_2 asupra unor indicatori cheie ai calității furajelor [7].

Seceta provoacă o reducere semnificativă a producțiilor, în special în regiunile calde. Cercetări recente din Europa au arătat că stresul provocat de secetă este un factor major al pierderilor în culturile de porumb și de grâu de iarnă, în special în anii cu randament scăzut [13]. Este dificil de separat efectele acestor condiții climatice asupra creșterii vegetației, deoarece acestea sunt frecvent combinate. De exemplu, în timp ce temperaturile mai ridicate la latitudini mai mari pot stimula adaptabilitatea culturilor și prelungi perioada de vegetație, temperaturile mai ridicate la latitudini mai joase pot fi legate de stresul hidric.

Pe lângă faptul că temperaturile mai ridicate și condițiile mai secetoase favorizează speciile C4, acestea pot provoca, de asemenea, o toxicitate sporită la unele plante. De asemenea, o concentrație ridicată de CO_2 în unele plante poate reduce concentrația de proteine și minerale, în timp ce la altele poate provoca o toxicitate mai mare. Pericolul valorilor ridicate de CO_2 constă, de asemenea, în favorizarea plantelor C3 și în răspândirea arborilor în detrimentul ierburilor [14].

Distribuția biomurilor și compoziția pajiștilor și a pășunilor sunt modificate în mod semnificativ de creșterea temperaturii medii. Intervalele mai scurte de creștere a pășunilor pot rezulta din schimbările în modelele de precipitații și din secetele mai frecvente. Potrivit mai multor cercetări, fluctuațiile de temperatură, concentrația de CO_2 și depunerile de azot scad productivitatea pășunilor [15].

În plus, sistemele de păşunat sunt deosebit de vulnerabile la schimbările climatice din cauza posibilităţilor limitate de adaptare. În special în sistemele de păşunat aride şi semiaride, se anticipează că temperaturile crescute, precum şi precipitaţiile mai puţine, vor scădea randamentul păşunilor şi vor exacerba degradarea solului [16, 17].

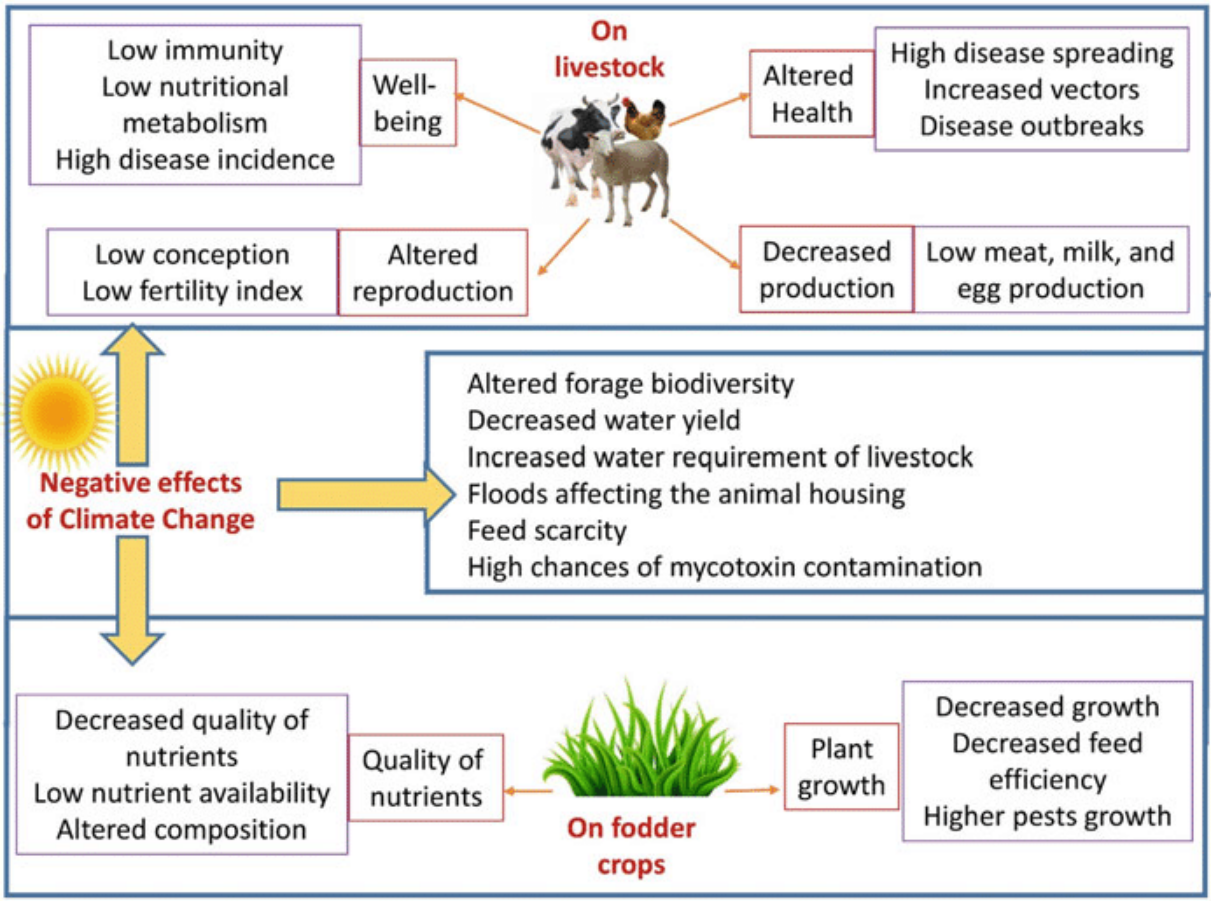


Figura 2. Impactul negativ al schimbărilor climatice asupra creşterii animalelor [17].

Apa

Apa este o resursă insuficientă pretutindeni, iar gravitatea penuriei de apă variază în funcţie de disponibilitate şi de cerere. Agricultura, cu o pondere de 69%, este cel mai mare consumator de apă de pe planetă [17]. Apa este utilizată în industria zootehnică pentru a fi consumată de animale, pentru fabricarea de furaje şi pentru prelucrarea produselor. Aproximativ 22 % din evapotranspiraţia totală la de pe terenurile agricole nivel mondial şi 41 % din consumul total de apă sunt determinate de creşterea animalelor [18]. Odată cu creşterea populaţiei şi a cererii tot mai mari de produse animaliere, este posibil ca deficitul de apă să devină un factor limitativ din ce în ce mai important pentru producţia agricolă.

Se preconizează că disponibilitatea apei şi utilizarea apei pentru animale se vor modifica ca urmare a schimbărilor climatice [19]. O creştere a temperaturii va mări probabil consumul de apă pe cap de animal şi pe hectar, precum şi consumul de apă pentru irigaţii [20].

O altă problemă, cauzată de creşterea nivelului mării, este desalinizarea apei [21]. În anii următori, concurenţa pentru apă între animale, culturi şi utilizări non-agricole se va intensifica, necesitând tehnologii de producţie foarte eficiente pentru a face faţă penuriei de apă [19].

Pe lângă cantitate, există, de asemenea, îngrijorare cu privire la calitatea apei brute, care, conform previziunilor, ar putea fi, de asemenea, redusă [14]. Acest lucru poate fi cauzat de creşterea

temperaturilor și a nivelului mării sau de încărcături mai mari de sedimente, nutrienți și poluanți din cauza precipitațiilor abundente. Calitatea slabă a apei poate reduce consumul de apă și de hrană la animale și le poate pune în pericol sănătatea acestora.

Variații sezoniere și evenimente climatice extreme

Modelul sezonier și disponibilitatea resurselor și a culturilor se pot modifica din cauza schimbărilor climatice, având efecte și asupra animalelor. Este de așteptat ca animalele să se confrunte cu un stres termic mai mare pe măsură ce frecvența și durata valurilor de căldură cresc. Potrivit lui Knee și colaboratorii [22] există variații sezoniere semnificative în ceea ce privește cantitatea de glicogen din mușchii bovinelor. Aceștia au constatat că o calitate mai bună a cărnii de vită este asociată cu creșterea pe pășuni bogate în nutrienți primăvara, în comparație cu creșterea pe pășuni mai sărace, în timpul verii. În plus, gestionarea pășunatului și a animalelor se poate confrunta cu noi dificultăți din cauza schimbărilor în modelele sezoniere de aprovizionare cu furaje. Producția de hrană pentru animale este amenințată de posibilitatea apariției de evenimente de secetă extremă, astfel încât sunt necesare măsuri de adaptare pentru a face față unor astfel de evenimente. În plus, modificările în calendarul de topire a zăpezii duc la schimbarea modelelor de disponibilitate a apei pe tot parcursul anului, ceea ce are, de asemenea, un impact asupra aprovizionării cu furaje [23].

Cercetări recente au arătat că valurile de căldură și seceta din regiunea climatică continentală a Câmpiei Panonice, care se extinde în Ungaria, Serbia, Bulgaria și România, au un impact deosebit de grav asupra pășunilor naturale. Stričević și colaboratorii [24] au efectuat o analiză predictivă a schimbărilor climatice în cinci localități din Serbia, pentru două scenarii selectate de emisii de gaze cu efect de seră - RCP4.5 și RCP8.5. Rezultatele obținute au indicat că, în perioada următoare, vegetația pajiștilor naturale va fi expusă la schimbări ale condițiilor climatice, la secete frecvente și la apariția frecventă a unor temperaturi extrem de ridicate (Tabelul 1, Figura 3).

Tabelul 1. Numărul de zile de secetă din anumite localități din Serbia obținute în urma simulărilor [24]

Scenario	Period	Rimski Šančevi	Valjevo	Kragujevac	Negotin	Leskovac
RCP 4.5	1986–2005	101	95	100	106	101
	2016–2035	101	97	101	107	102
	2046–2065	103	99	103	109	105
	2080–2100	103	99	103	108	105
RCP 8.5	1986–2005	100	94	100	106	102
	2016–2035	101	96	101	106	101
	2046–2065	102	99	103	108	104
	2080–2100	106	103	107	111	109

Acest lucru poate duce la periclitarea supraviețuirii speciilor de plante erbacee, în special a speciilor caracteristice climei temperate nordice, care sunt principalele componente și purtătoare ale producției de gazon semănat pentru producția de furaje grosiere pe pajiștile și terenurile arabile din Serbia. Pe de altă parte, toleranța la secetă se va dezvolta prin diversitatea naturală și răspândirea speciilor rezistente la temperaturi ridicate și la lipsa apei, cum ar fi buruienile și speciile de calitate inferioară.

Este important să menționăm aici efectul pe care variațiile sezoniere și evenimentele climatice extreme îl pot avea asupra creșterii morbidității și mortalității animalelor. În special, secetele prelungite cauzează o penurie de apă și de pășuni, ceea ce reduce imunitatea animalelor împotriva bolilor infecțioase. În plus, se declanșează deplasarea animalelor de pășunat în locuri cu un pericol mai mare

de boli infecțioase, cum ar fi rezervațiile de animale sălbatice. În acest caz, interacțiunea mai strânsă între animalele domestice și cele sălbatice crește șansele de transmitere a bolilor [25]. De asemenea, animalele de fermă pot fi expuse la riscul apariției unor noi agenți patogeni din cauza contactului sporit cu animalele sălbatice în zonele de pășunat stabilite prin defrișare și schimbări în categoriile de utilizare a terenurilor [26].

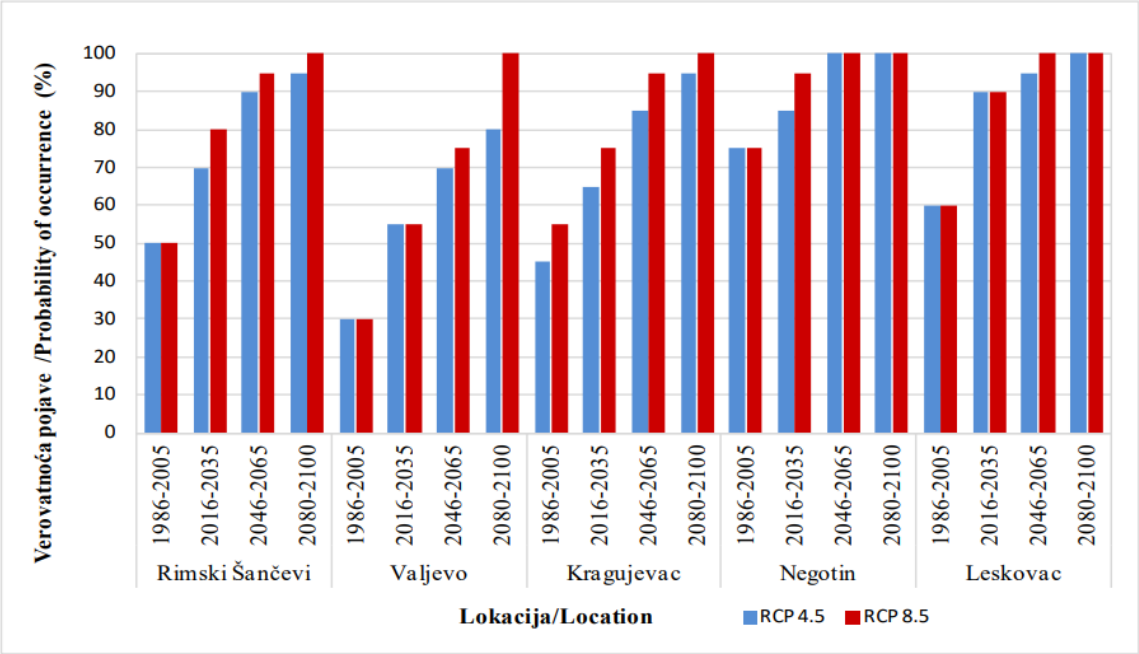


Figura 3. Probabilitatea de apariție (%) a temperaturii maxime zilnice (> 30°C) pentru mai mult de 30 de zile [24].

Bibliografie

1. Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., Bernabucci U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. Livest. Sci. 130, 57–69.
2. Rust, J. M. (2019). The impact of climate change on extensive and intensive livestock production systems. Anim. Front. 9, 20-25.
3. Collins, M., Nelson, C. J., Moore, K. J., Barnes, R. F. (2017). Forages Volume 1: An Introduction to Crass/and Agriculture. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 432.
4. Hopkins, A., Prado, A. D. (2007). Implications of climate change for grassland in Europe: Impacts, adaptations and mitigation options: A review. Grass Forage Sci. 62, 118-126.
5. Lee, M. A., Davis, A. P., Chagunda, M. G. G., Manning, P. (2017). Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. Biogeosciences 14, 1403-1417.
6. Picon-Cochard, C., Teyssonneyre, F., Besle J. M., Soussana J. F. (2004). Effects of elevated CO2 and cutting frequency on the productivity and herbage quality of a semi-natural grassland. European Journal of Agronomy 20, 363–377.
7. Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Luscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C. (2015). A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: Specificities of mountain and Mediterranean areas. Grass Forage Sci. 70, 239-254.
8. Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mclvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. Grass Forage Sci. 66, 2-28.

9. Pearcy, R. W., Ehleringer, J. (1984). Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. Plant Cell Environ. 7, 1-13.
10. Cho, S. J., McCarl, B. A. (2017). Climate change influences on crop mix shifts in the United States. Sci. Rep. 7, 40845.
11. Kukal, M. S., Irmak, S. (2018). Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. Sci. Rep. 8, 3450.
12. Thornton, P. K., Van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. Agric. Syst. 101, 113-127.
13. Webber, H., Ewert, F., Olesen, J. E., Muller, C., Fronzek, S., Ruane, A. C., Bourgault, M., Martre, P., Ababaei, B., Bindi, M., Ferrise, R., Finger, R., Fodor, N., Gabaldón-Leal, C., Gaiser, T., Jabloun, M., Kersebaum, K. C., Lizaso, J. I., Lorite, I.J., Wallach, D. (2018). Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. Nat. Commun. 9, 4249.
14. Godde, C. M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D., Thornton, P. K., Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. Global Food Security 28, 100488. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488.
15. Hopkins, A., Prado, A. D. (2007). Implications of climate change for grassland in Europe: Impacts, adaptations and mitigation options: A review. Grass Forage Sci. 62, 118-126.
16. Hoffman, M., Vogel, C. (2008). Climate change impacts on African rangelands. Rangelands 30, 12-17.
17. Jack, A. A., Adegbeye, M. J., Reddy, P. R. K., Elghandour, M. M. M. Y., Salem, A. Z. M., Adewumi, M. K. (2022). Ruminant Productivity Among Smallholders in a Changing Climate: Adaptation Strategies. In: M. Lackner, B. Sajjadi, W.Y. Chen (Eds.) Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation (pp. 1-41). Springer. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72579-2_148
18. Heinke, J., Lannerstad, M., Gerten, D., Havlik, P., Herrero, M., Notenbaertn, A. M. O., Hoff, H., Muller, C. (2020). Water Use in Global Livestock Production-Opportunities and Constraints for Increasing Water Productivity. Water Resour. Res. 56, e2019WR026995.
19. Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022). Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. Atmosphere 13, 140. https://doi.org/10.3390/atmos13010140
20. Fader, M., Shi, S., von Bloh, W., Bondeau, A., Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: More efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. Hydro. Earth Syst. Sci. 20, 953-973.
21. Tully, K., Gedan, K., Epanchin-Niell, R., Strong, A., Bernhardt, E. S., BenDor, T., Mitchell, M., Kominoski, J., Jordan, T. E., Neubauer, S. C., Weston, N. E. (2019). The invisible flood: The chemistry, ecology, and social implications of coastal saltwater intrusion. BioScience 69, 368-378.
22. Knee, B. W., Cummins, L. J., Walker, P., Warner, R. (2004). Seasonal variation in muscle glycogen in beef steers. Aust. J. Exp. Agric. 44, 729-734.
23. Hajek, L. L., Knapp, A. K. (2021). Shifting seasonal patterns of water availability: Ecosystem responses to an unappreciated dimension of climate change. N. Phytol. 233, 119-125.
24. Stričević, R., Simić, A., Vujadinović-Mandić, M., Sokolović, D. R. (2021). Uticaj klimatskih promena na potrebe prirodnih travnjaka za vodom u Srbiji. Journal of Agricultural Sciences 66, 3, 291-307.
25. Pinto, J., Bonacic, C., Hamilton-West, C., Romero, J., Lubroth, J. (2008). Climate change and animal diseases in South America. Revue Scientifique Et Technique 27, 2, 599-613.
26. Lubroth, J. (2012). Climate change and animal health. In A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu, V. Gitz, (Eds.) Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector in Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop (pp. 63-70), Rome, Italy.

Efectele directe ale producției de animale asupra emisiilor de gaze cu efect de seră: fermentația enterică, gestionarea gunoiului de grajd și consumul de energie

Conform estimărilor, producția de animale este o sursă semnificativă de emisii de gaze cu efect de seră, contribuind cu 14,5% în totalul emisiilor antropice, adică 8,1 gigatone de CO_2 echivalent pe an [1]. Echivalentul CO_2 (CO_2-eq) este o unitate de măsură pentru dioxidul de carbon, exprimată de obicei în tone metrice și este utilizată pentru a standardiza măsurarea tuturor gazelor cu efect de seră (GES) care contribuie la încălzirea globală. Aceste gaze reține căldura în atmosfera Pământului, ceea ce duce la creșterea temperaturilor și la alte schimbări climatice.

Amprenta de carbon este utilizată pentru a măsura cantitatea de CO_2 și alte emisii de GES eliberate în atmosferă în timpul activităților umane (utilizarea energiei, transporturi, producția de alimente etc.). Ea oferă o modalitate de a cuantifica cantitatea totală de emisii de GES produse de o anumită activitate, produs sau persoană. Pentru a calcula amprenta de carbon, toate emisiile de GES sunt convertite în CO_2-eq pe baza potențialului lor de încălzire globală (GWP). GWP indică cantitatea de căldură pe care un gaz o reține în atmosferă în comparație cu CO_2 într-o anumită perioadă de timp (de obicei 100 de ani). Astfel, în funcție de sursă, metanul are o valoare GWP de 28-36 de ori mai mare decât cea a CO_2 pe o perioadă de 100 de ani, astfel încât emisia unei tone de metan este echivalentă cu emisia a 28-36 de tone de echivalent CO_2. Valoarea GWP a protoxidului de azot este de 265 de ori mai mare decât cea a CO_2 pe o perioadă de 100 de ani, astfel încât emisia unei tone de protoxid de azot este echivalentă cu emisia a 265 de tone de CO_2-eq. Prin utilizarea măsurii CO_2-eq, este posibil să se compare emisiile de diferite gaze cu efect de seră și să se monitorizeze progresul înregistrat în reducerea emisiilor totale de gaze cu efect de seră în timp.

Metanul (CH_4), protoxidul de azot (N_2O) și dioxidul de carbon (CO_2) sunt cele trei principale gaze cu efect de seră eliberate de animale. Dioxidul de carbon este eliberat în principal din arderea combustibililor fosili în mașinile electrice și din arderea biomasei prin descompunere microbiană. Emisiile de dioxid de carbon pot rezulta, de asemenea, din conversia terenurilor arabile în pășuni permanente (prin schimbarea utilizării terenurilor) sau din ajustări în gestionarea terenurilor agricole. Metanul este produs în timpul descompunerii materiei organice în condiții anaerobe (în timpul fermentației enterice a rumegătoarelor, al depozitării gunoiului de grajd sau al deșeurilor organice din industria de prelucrare). Oxizii de azot sunt eliberați în timpul transformării microbiene a azotului din sol sau din gunoiul de grajd.

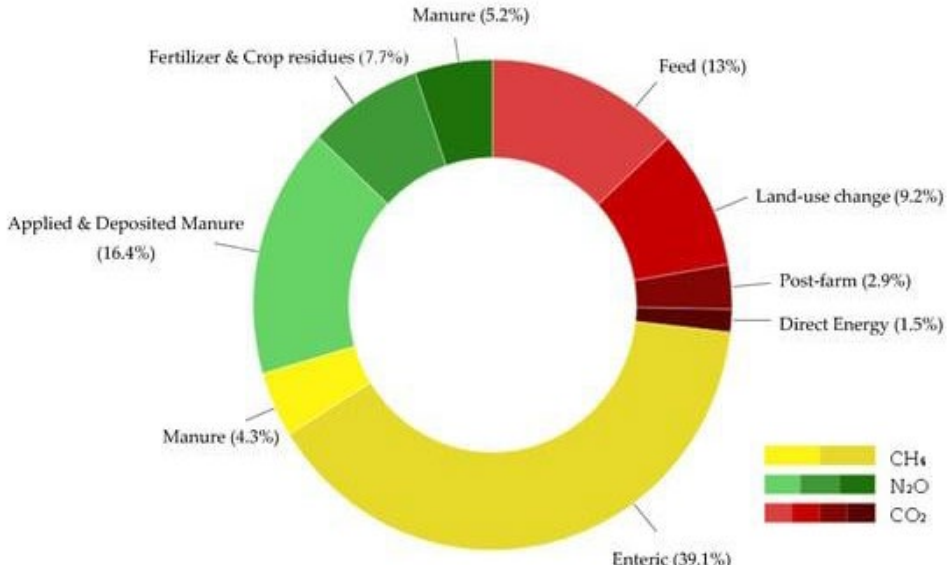


Figura 1. Emisiile GES din diferite surse zootehnice [1, 2].

Modelul FAO de evaluare globală a mediului în zootehnie (GLEAM) [2] a fost utilizat pentru a analiza abundența relativă a gazelor menționate, iar potențialul de încălzire pe 100 de ani al IPCC (2014) (298 pentru N_2O și 34 pentru CH_4) a fost utilizat pentru a converti nivelurile acestora în CO_2-eq.
Conform acestui model, metanul (CH_4), protoxidul de azot (N_2O) și dioxidul de carbon (CO_2) reprezintă 50%, 24% și, respectiv, 26% din emisiile din lanțul de aprovizionare cu produse de origine animală (Figura 1). Cu o participare de aproximativ 62% din emisiile totale ale tuturor tipurilor de animale, bovinele sunt principala sursă de GES. În același timp, bovinele de lapte și bovinele de carne produc cantități similare de emisii. Emisiile provenite de la alte specii (inclusiv porci, păsări de curte, bivolițe și rumegătoare mici) variază între 7 și 11% în mod individual. Figura 2 prezintă ponderea estimată a emisiilor în funcție de speciile de animale.
Valorile emisiilor de echivalent CO_2 în producția de bovine estimate cu ajutorul modelului GLEAM [2] sunt de 3,0 pentru carnea de vită și de 1,6 gigatone pentru lapte. Producția de carne de porc emite 0,82 gigatone de CO_2 -eq, carnea și ouăle de pui 0,79 gigatone de CO_2-eq, carnea și laptele de bivoliță 0,7 gigatone de CO_2-eq și 0,5 gigatone de CO_2-eq din producția de carne și lapte de rumegătoare mici. Alte păsări de curte și produse necomestibile reprezintă restul emisiilor.
Compararea emisiilor între diferitele tipuri de produse de origine animală pe baza producției de proteine este poate un mod mai relevant de a exprima aceste relații. În acest caz, carnea de bivoliță se caracterizează prin cea mai mare intensitate a emisiilor, cu o medie de 404 kg de CO_2-eq pe kg de proteină produsă. Pe locul al doilea se află producția de carne de vită, cu o medie de 295 kg CO_2 -eq pe kg de proteină. Aceasta este urmată de carnea și laptele de la rumegătoare mici și de laptele de bivoliță, cu emisii de 201, 148 și, respectiv, 140 kg CO_2 -eq pe kg de proteine. În acest calcul, grupul cu cea mai mică intensitate a emisiilor (mai puțin de 100 kg CO_2 -eq pe kg de proteine) include producția de lapte de vacă, carne și ouă de pasăre și carne de porc [2]. Este important de subliniat faptul că intensitatea estimată a emisiilor variază semnificativ în funcție de regiune, adică de condițiile agroecologice, de tehnologia de producție aplicată și de managementul general.

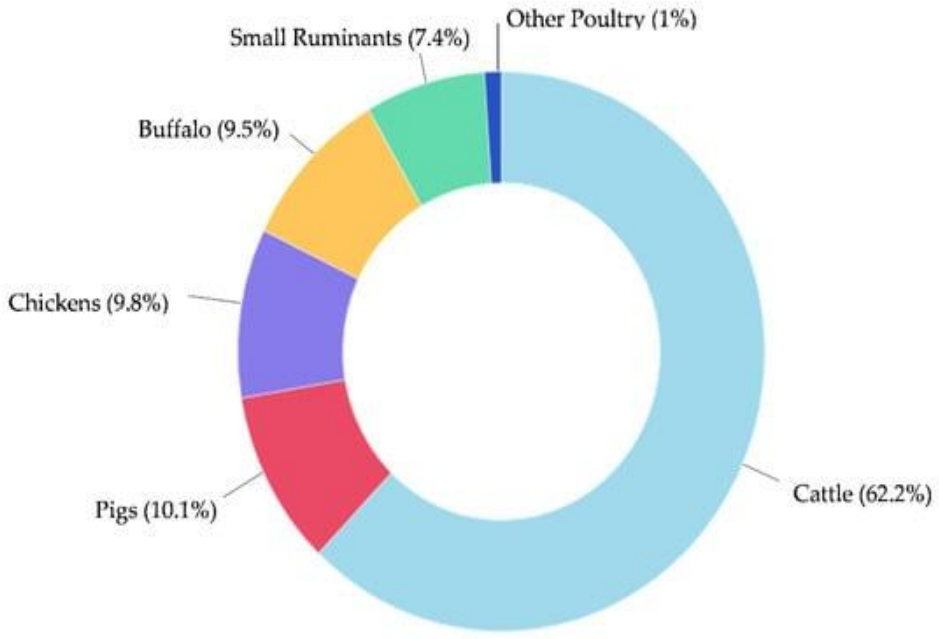


Figura 2. Emisiile GES corespunzătoare diferitelor specii de animale [2].

Emisiile directe sunt cele care rezultă din creșterea animalelor, inclusiv eliberarea de gaze nocive prin fermentație enterică și prin gunoi de grajd. Grupul de emisii directe poate include, de asemenea, emisiile care apar prin consumul de energie aferent. Emisiile indirecte provin, în principal, din

producția de hrană pentru animale și din modificările aferente ale categoriilor de utilizare a terenurilor. Raportul dintre emisiile directe și indirecte nu a fost încă pe deplin clarificat, adică nu este încă posibil să se precizeze care dintre aceste două tipuri de emisii are ponderea cea mai mare [3, 4].

Fermentația enterică

În sistemul digestiv al rumegătoarelor (Figura 3) are loc procesul de fermentație enterică, care presupune descompunerea materiei organice, în principal de tip fibro-celulozic, sub influența microflorei prezente [5]. Acesta este, în esență, un proces unic și util care permite transformarea unor substanțe greu de degradat (celuloză, lignină) în substanțe cu valoare nutritivă care sunt utilizate în cele din urmă pentru alimentația umană. Cu toate acestea, în timpul fermentației enterice, are loc și formarea de gaz-metan nociv, pe care animalele îl eliberează în mediul înconjurător (prin expirație, eructație, defecare). În acest fel, rumegătoarele sunt grupul de animale domestice care contribuie cel mai mult la emisia de metan în atmosferă [6].

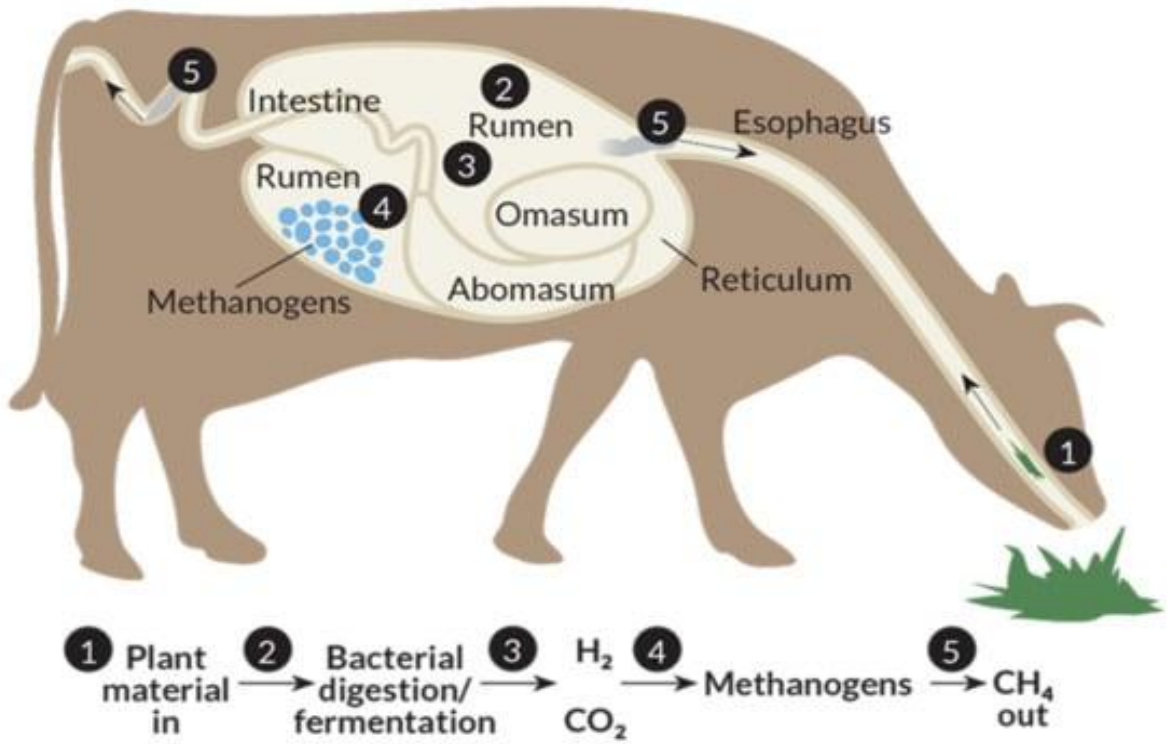


Figura 3. Fermentația enterică și metanogeneza la rumegătoare [5].

Metanul produs prin fermentație enterică reprezintă 39,1% din totalul emisiilor de GES (Figura 1) și are un potențial de încălzire a atmosferei de 28 de ori mai mare decât cel al CO_2 [7]. La nerumegătoare are loc, de asemenea, producția de metan, dar în cantități incomparabil mai mici. Cu toate acestea, cantitatea de metan produsă de rumegătoare nu este constantă, ci este influențată de diverși factori (Figura 4).

Consumul de furaje are cea mai mare influență asupra emisiei, și anume cantitatea de nutrienți consumată, precum și calitatea acestora. Astfel, odată cu creșterea digestibilității furajelor, sinteza metanului scade, iar productivitatea animalelor crește. Dacă animalele consumă mese mai abundente, acest lucru se reflectă în creșterea emisiilor de metan. În plus, starea de sănătate a animalelor și prezența aditivilor furajeri pot avea, de asemenea, un impact asupra emisiilor.

Se poate concluziona că specia de rumegătoare, sistemul de producție, precum și caracteristicile regionale influențează în mod sinergic viteza cu care energia alimentară va fi transformată în metan [1].

Având în vedere contribuția rumegătoarelor la emisiile de CH_4 și impactul negativ al metanogenezei asupra productivității, este necesar să se găsească modalități eficiente de reducere a acestui proces. Până în prezent, au fost definite mai multe strategii, în general legate de modularea regimului alimentar și a managementului, manipularea activității rumenului și strategii avansate la nivel molecular și biochimic. Acestea vor fi discutate în detaliu într-un capitol ulterior.

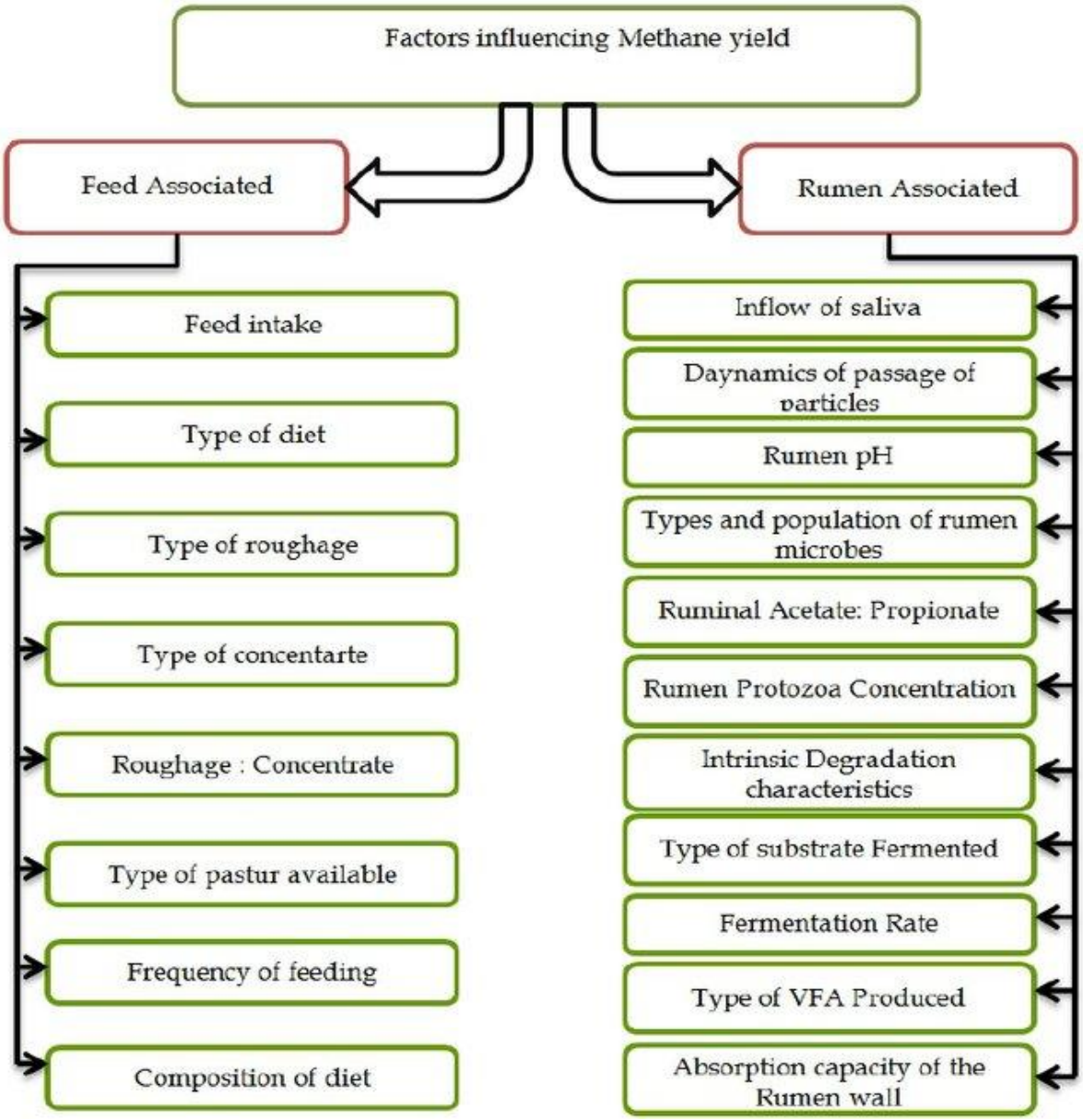


Figura 4. Factori care influențează metanogeneza la rumegătoare [8].

Managementul gunoiului de grajd

Intensificarea și specializarea continuă a producției de animale duce la o creștere a cantității de gunoi de grajd, care este o sursă de gaze cu efect de seră (GES), metan (CH_4) și protoxid de azot (N_2O). Se estimează că gunoiul de grajd este responsabil pentru aproape 10 % din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră [2]. Emisiile nete ale acestor gaze rezultă dintr-o varietate de activități microbiene din gunoiul de grajd [9]. Bovinele și porcii reprezintă cea mai mare sursă de emisii de metan din gunoiul de grajd, după cum se arată în Figura 5 [4,10]. Spre deosebire de fermentația enterică, care eliberează în principal metan, gunoiul de grajd este, de asemenea, un substrat pentru eliberarea de oxizi de azot pe lângă metan.

Figura 1 arată că, contribuția medie a emisiilor de metan și de oxizi de azot din gunoi de grajd la totalul emisiilor de GES este de 4,3 % și, respectiv, 5,2 %. Valorile absolute și relative ale emisiilor acestor gaze provenite din gunoiul de grajd depind de condițiile de mediu (temperatura aerului, umiditate), de durata depozitării și manipulării gunoiului de grajd, precum și de tipul de hrană pentru animale. De exemplu, formarea metanului este influențată favorabil de condițiile anaerobe, în timp ce pentru formarea oxizilor de azot din amoniac sunt necesare atât condiții aerobe, cât și anaerobe [4].
S-a constatat că cele mai mari cantități de oxizi de azot sunt eliberate atunci când gunoiul de grajd este depozitat în stare solidă sau împrăștiat pe sol [3]. Acest lucru corespunde unei cote estimate de 16,4 % din emisiile de oxizi de azot pentru gunoiul de grajd depus/aplicat, după cum se arată în Figura 1. În schimb, atunci când gunoiul de grajd este depozitat în stare lichidă (bazine), emisiile de gaze cresc în favoarea metanului [10].

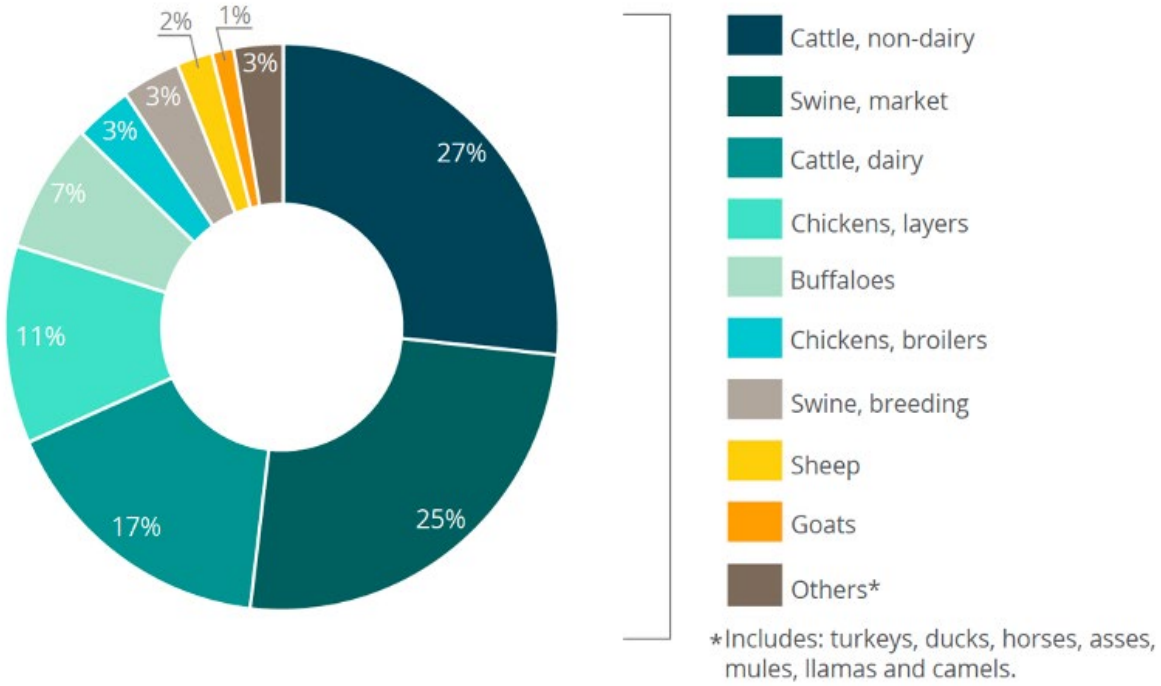


Figura 5. Contribuția diferitelor sectoare de creștere a animalelor la emisiile provenite din gunoiul de grajd [4].

Consumul de energie

Multe procese asociate cu zootehnia necesită utilizarea energiei, cum ar fi producția de îngrășăminte, utilizarea mașinilor și transportul furajelor și al animalelor. În ferme energia este necesară pentru încălzire/răcire, hrănire, ventilație, iluminat, muls și gestionarea gunoiului de grajd. În general, electricitatea este utilizată pentru sistemele de iluminat, de hrănire și de muls, în timp ce combustibilii fosili asociați cu consumul direct de energie sunt utilizați pentru gestionarea gunoiului de grajd și pentru încălzire. Producția de hrană pentru animale, precum și producția de produse de origine animală implică, de asemenea, consum de energie. Se poate concluziona că consumul de energie în zootehnie este concentrat în producția de furaje, în adăposturi și în gestionarea gunoiului de grajd.
Sursa de energie în zootehnie este reprezentată în principal de combustibilii fosili, iar consumul acestora reprezintă o altă sursă de emisii de $C0_2$. Se estimează că consumul total de energie în ciclul de producție a produselor de origine animală contribuie cu aproximativ 25% din totalul emisiilor din sectorul zootehnic [1].
Pe tot parcursul procesului de producție, se presupune că producția de hrană pentru animale (concentrate, conserve de hrană sau pășuni) reprezintă cel mai mare consum de energie [11]. În mod problematic, există aici unele neconcordanțe analitice, deoarece consumul de energie asociat

producției de furaje are loc în afara fermei și, în general, nu este atribuit sectorului zootehnic în statisticile agricole oficiale.
Producția, depozitarea și transportul furajelor sunt procese intensive care consumă cantități mari de energie asociate cu combustibilul, îngrășămintele și pesticidele. În plus, producția de produse de origine animală este, în general, ineficientă din punct de vedere energetic, deoarece o mare parte din energia din masă este cheltuită pentru întreținerea structurii corporale (regenerarea țesuturilor) și a proceselor fiziologice (pierderi de căldură), și mai puțin pentru producerea structurilor utilizate în alimentația umană [12].
Dintre toți parametrii care influențează consumul de energie în producția animalieră, cei mai importanți sunt specia și tipul de animale, locația geografică, condițiile agroecologice și sistemul de producție.
În ceea ce privește rasa și tipul (scopul pentru care sunt crescute) animalelor, Paris și colaboratorii [13] au constatat că consumul de energie variază între 2,1 și 5,3 MJ/kg per ECM în producția de lapte de vacă, 59,2 MJ/kg pentru producția în sistem vacă-vițel, 15,9 MJ/kg până la 22,7 MJ/kg în producția de carne de porc, 9,6 MJ/kg până la 19,1 MJ/kg în producția de pui de carne, 20,5 până la 3,5 MJ/kg în producția de ouă (Figura 6).

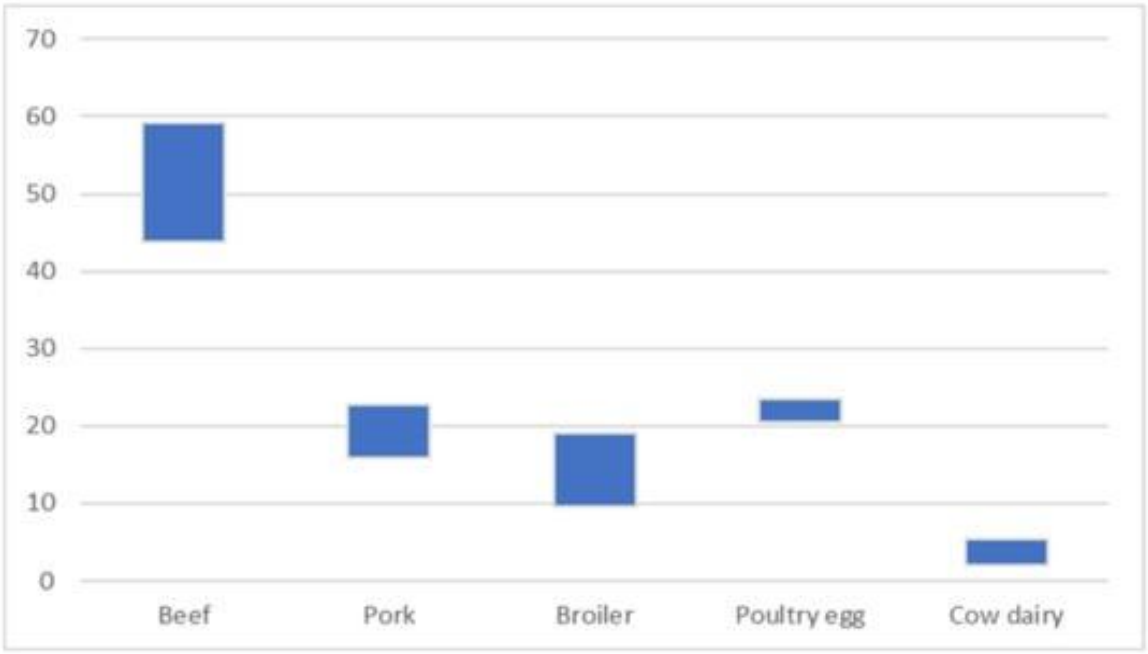


Figura 6. Consumul de energie în obținerea produselor de origine animală în raport cu tipul de animale (MJ/kg) [13] .

Într-un meta-studiu realizat de Paris și colaboratorii [13], producția de furaje a dominat ca aport energetic indirect (75% din consum) în toate sistemele de creștere a animalelor (UE-27), cu excepția producției de carne de vită (Tabelul 1). Adăpostirea și hrănirea (în principal sub formă de energie electrică) precum și gestionarea gunoiului de grajd (în principal cu ajutorul motorinei) reprezintă majoritatea consumului de energie directă în producția de carne de vită. În producția de lapte, mulsul, răcirea laptelui și încălzirea apei au reprezentat cea mai mare parte a consumului direct de energie. În acest caz, există diferențe în ceea ce privește sursele de energie în funcție de localizarea geografică a studiului, deoarece unele locații utilizează în principal electricitatea pentru un anumit scop, în timp ce altele utilizează direct combustibili fosili. Utilizarea energiei electrice pentru pomparea apei, iluminat și alte activități s-a dovedit a fi relativ scăzută. Conform studiilor analizate, creșterea bovinelor a fost sistemul de producție cu cel mai mare consum de energie (pe kilogram de carne), urmat de creșterea porcilor și a păsărilor de curte.

Tabelul 1. Intervale de consum de energie (scăzut-înalt) pentru consumul indirect (furaje) și direct în diferite sisteme de producție (MJ/kg) [13].

Sistemul de producție	Cantitatea de furaje		Energia direct utilizată	
	Scăzută	Ridicată	Scăzută	Ridicată
Lapte de vacă	1.11	4.4	0.54	1.76
Carne de vită	17.34	27.23	9.36	31.97
Carne de porc	11.6	16.41	2.6	11.1
grătar	6.5	14.82	0.5	6.6
Ouă	10.3	13.2	0.6	10.3

În anii următori, intensificarea tot mai mare a agriculturii va necesita o conversie a metodelor de producție în sectorul zootehnic pentru a contribui la durabilitatea mediului, și anume, pentru a reduce emisiile de gaze nocive. Aceasta ar însemna conversia producției de animale către tehnologii de producție alternative și mai durabile, bazate pe principii ecologice și pe o mai mare utilizare a surselor de energie regenerabilă.

Bibliografie

1. Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Tackling Climate Change through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities.* https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133417883
2. Dashboard-old | Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) | Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Retrieved 24 March 2023, from https://www.fao.org/gleam/results/en/
3. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales M., M., Haan, C. de. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
4. Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A. G. (2019). Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, *9*(1), 69–76. https://doi.org/10.1093/af/vfy034
5. Zhao, Y., Nan, X., Yang, L., Zheng, S., Jiang, L., Xiong, B. (2020). A Review of Enteric Methane Emission Measurement Techniques in Ruminants. *Animals*, *10*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/ani10061004

6. Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CABI Reviews*, *2009*, 1–18. https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035
7. *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC*. (n.d.). Retrieved 23 March 2023, from https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
8. Liu, G. (2012). *Greenhouse Gases: Capturing, Utilization and Reduction*. BoD – Books on Demand.
9. Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, *7*, 266–282. https://doi.org/10.1017/S1751731113000736
10. Johnson, D. E., Ward, G. M. (1996). Estimates of animal methane emissions. *Environmental monitoring and assessment*, *42*(1-2), 133–141. https://doi.org/10.1007/BF00394046
11. Beckman, J., Borchers, A., Jones, C. A. (2013). *Agriculture's Supply and Demand for Energy and Energy Products* (SSRN Scholarly Paper No. 2267323). https://doi.org/10.2139/ssrn.2267323
12. de Visser, C. L. M., de Buisonje, F. E., Ellen, H. H., Stanghellini, C., van der Voort, M. P. J. (2012). State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture, Country data on energy consumption in different agroproduction sectors in the European countries.
13. Paris, B., Vandorou, F., Tyris, D., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., Papadakis, G. (2022). Energy Use in the EU Livestock Sector: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption. *Applied Sciences*, *12*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/app12042142

Efectele indirecte ale producției de animale asupra emisiilor de gaze cu efect de seră: producția de furaje și schimbările în categoria de utilizare a terenurilor

Producția de hrană pentru animale are un impact semnificativ asupra emisiilor de gaze cu efect de seră și contribuie în mod semnificativ la amprenta globală de carbon a producției de animale. Aceste emisii includ toate cele trei mari gaze cu efect de seră: CO_2, N_20 și CH_4. Producția de îngrășăminte și pesticide pentru cultivarea, prelucrarea și transportul furajelor, utilizarea combustibilului în producție și modificările asociate utilizării terenurilor sunt responsabile pentru emiterea celor mai mari cantități de CO_2. Emisiile de N_20 provin în primul rând din utilizarea îngrășămintelor și din aplicarea gunoiului de grajd și, într-o măsură mai mică, din cultivarea leguminoaselor furajere (de exemplu, lucernă, trifoi, soia, mazăre, orez). Cantitatea de emisii de CH_4 provenite din producția de hrană pentru animale este mult mai mică decât emisiile de $C0_2$ și N_20 [1]. În plus, producția de hrană pentru animale este deseori asociată cu schimbarea categoriei de utilizare a terenurilor datorită defrișării pădurilor sau a altor habitate naturale, ceea ce poate agrava și mai mult problema schimbărilor climatice.

Producția furajelor

Producția de hrană pentru animale, prelucrarea și transportul acesteia generează emisii de gaze cu efect de seră, care se estimează că reprezintă aproximativ 45 % din totalul emisiilor provenite din zootehnie [1]. Producția de furaje în creșterea păsărilor (carne și ouă) și a porcilor contribuie cu 60-80% la emisiile de GES, iar în cazul bovinelor (lapte și carne) cu 35-45% [2].

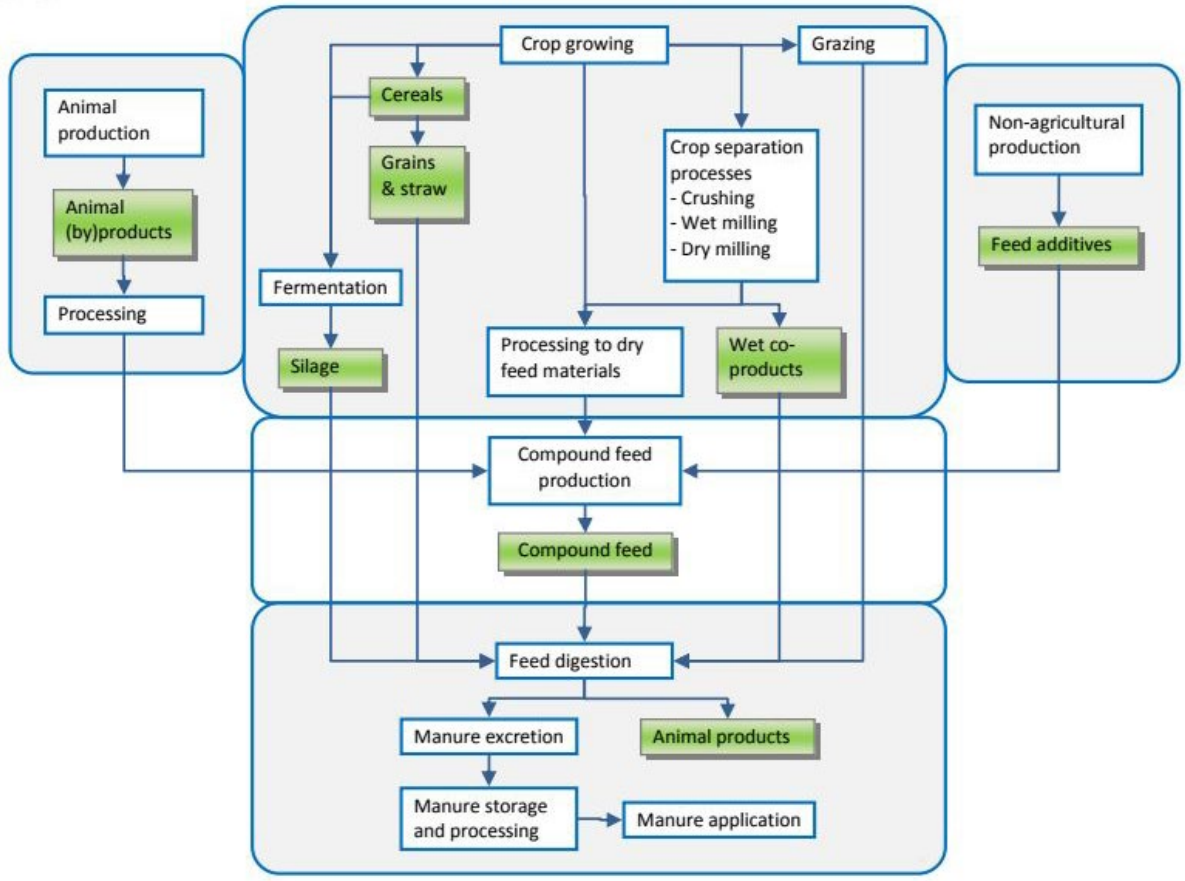


Figura 1. Diagrama întregului proces de producție și utilizare a furajelor (câmpurile verzi reprezintă hrana pentru animale) [5]

Evaluarea emisiilor de gaze cu efect de seră provenite din producția animalieră a arătat că cultivarea, prelucrarea și transportul furajelor, precum și eficiența utilizării acestora în organismul animal, sunt cei mai importanți factori care influențează cantitatea de gaze emise [3].

Producția de furaje este un proces complex care constă într-o serie întreagă de procese tehnologice interconectate (orizontal și vertical). În fiecare etapă a producției de furaje, se emite o anumită cantitate de gaze nocive. Particularitățile condițiilor agroecologice și ale tehnologiilor de hrănire și de creștere a animalelor contribuie în mod semnificativ la diferențele dintre nivelurile de emisii generate de producția de furaje la nivel regional și local. Prin urmare, modelele utilizate pentru a evalua acest tip de emisii sunt foarte complexe, deoarece este necesar să se includă un număr mare de factori care sunt importanți pentru analiză, precum și o cantitate mare de informații care să descrie fiecare dintre ei [4].

Figura 1 prezintă o reprezentare schematică a întregului proces de producție și prelucrare în producția de furaje pentru animale. Varietatea de furaje pentru animale este destul de mare. Unele substanțe nutritive sunt consumate direct acolo unde sunt cultivate, ceea ca în cazul pășunilor pentru rumegătoarele care pasc. În acest caz, nu există depozitare sau transport de nutrienți și nu există emisii corespunzătoare din aceste procese. În schimb, furajele conservate, cum ar fi silozul și fânul, trebuie să fie depozitate și, în unele cazuri, prelucrate, ceea ce afectează valoarea emisiilor rezultate din producția acestor furaje.

Amestecurile de furaje sunt structuri multicomponente compuse în principal din cereale și diverși aditivi, iar producția lor necesită o prelucrare industrială. Chiar dacă majoritatea nutrienților pentru hrănirea animalelor de fermă se bazează pe produse agricole, zootehnia modernă utilizează adesea subproduse de origine animală, precum și substanțe sintetice, cum ar fi vitamine, minerale, aminoacizi, enzime etc. Producția fiecăreia dintre componentele de mai sus consumă anumite inputuri și energie care afectează emisiile de gaze cu efect de seră. Depozitarea și transportul sunt surse suplimentare de emisii care apar între aproape fiecare fază din structura prezentată în Figura 1.

În toate verigile lanțului de producție, putem distinge între intrări, activități și efecte secundare, toate acestea având propriile caracteristici de emisie. Prin urmare, emisia totală a unei anumite verigi este rezultatul intrărilor și activităților utilizate. Pentru a calcula emisiile sunt necesare date de calcul și date de intrare corecte.

În general, se poate spune că, în majoritatea cazurilor, emisia totală rezultă din emisiile generate de următoarele procese de producție a furajelor:

1. cultivarea culturilor
2. transportul
3. depozitarea
4. fertilizarea (utilizarea gunoiului de grajd, a îngrășămintelor artificiale și a reziduurilor de cultură)
5. utilizarea de utilaje
6. utilizarea pesticidelor
7. prelucrarea industrială
8. utilizarea combustibililor fosili și a energiei electrice
9. altele

Pentru o mai bună înțelegere a tehnologiei de producere a hranei pentru animale și a emisiilor de gaze cu efect de seră corespunzătoare succesiunea și interrelațiile dintre procesele individuale de producție sunt prezentate în Figura 2.

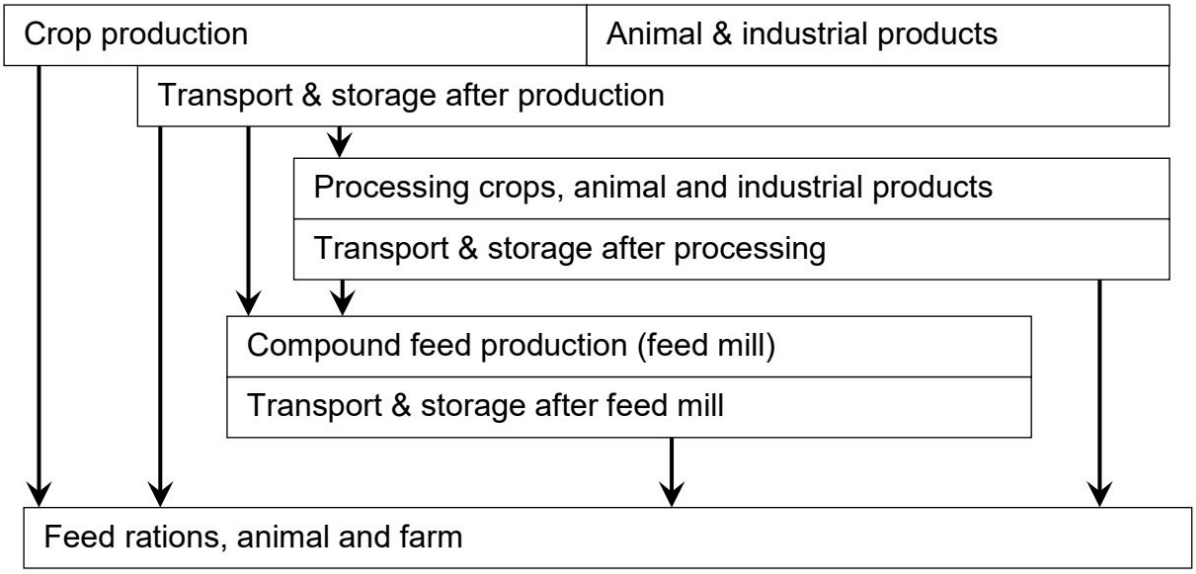


Figura 2. Relații dintre procedurile implicate în producerea de furaje [4]

Producția de culturi include atât cultivarea plantelor în sine, cât și legătura acestora cu alte verigi din întregul lanț de producție: producția de semințe și de material vegetal tânăr, producția și aplicarea îngrășămintelor, transportul și depozitarea gunoiului de grajd, producția și utilizarea pesticidelor, producția și întreținerea echipamentelor de cultivare, utilizarea energiei fosile pentru activitățile de cultivare, emisiile de N^2O și CH_4 din sol asociate cu aplicarea de N și drenarea solului de turbă etc., utilizarea și pierderile de energie în timpul depozitării înainte de utilizarea ulterioară în prelucrarea industrială și producția de amestecuri de animale [4].

Pentru cultivare se utilizează o serie de inputuri, cum ar fi îngrășăminte, pesticide și combustibili. Unele dintre aceste inputuri provoacă emisii de gaze cu efect de seră în timpul fazei de consum, cum ar fi azotul, care provoacă emisii de oxid de azot, și combustibilii, care provoacă emisii de dioxid de carbon. Se consideră că altele, cum ar fi pesticidele și îngrășămintele fosfatice sau potasice, nu provoacă emisii de gaze cu efect de seră în timpul fazei de consum. Utilizarea diferitelor utilaje pentru arat, fertilizat etc necesită un consum de energie în timpul utilizării în producția agricolă și generează emisii de GES asociate. Tabelul 1 prezintă estimarea emisiilor de GES în timpul producției de diferite furaje, cum ar fi iarba, porumbul și lucerna.

Table 1. Emisii de GES estimate pentru producerea ierbii, porumbului și lucernei (în grame de CO_2-eq per kilogram de produs) [4].

Produsul	Iarbă, proaspătă	Iarbă siloz	Iarbă uscată	Porumb Siloz	Porumb uscat	Lucernă proaspătă	Lucernă siloz	Lucernă uscată
Conținutul DM (g/kg)	163	474	918	301	909	200	403	910
Emisii GES (g CO_2-eq / kg)								
Cultivare	87	240	201	49	49	68	149	68
Transport			35		35			35
Factor de alocare			3,39		3,39			3,39
De la cultivare (incluzând alocare)			682		166			231
Procesare (uscat)	0	0	1168	0	1157	0	0	1168
Procesare totală			1885		1358			1434
Transport la fermă	0	0	10	0	10	10	10	10

După cum s-a menționat anterior, amprenta de carbon a furajelor poate varia în funcție de o serie de factori, inclusiv tipul de furaje, metodele de producție utilizate și localizarea geografică a producției de furaje. Cu toate acestea, există anumite tipuri de furaje care au o amprentă de carbon mai mare decât altele. Unul dintre principalii factori care contribuie la amprenta de carbon a producției de furaje este utilizarea îngrășămintelor pe bază de azot [1, 4, 7]. Aceste îngrășăminte sunt utilizate de obicei în producția de culturi precum porumbul, soia și grâul pentru a crește randamentul acestor culturi.

Producția de îngrășăminte pe bază de azot este foarte energointensivă și poate elibera oxid de azot, un puternic gaz cu efect de seră al cărui potențial de încălzire este de aproximativ 300 de ori mai mare decât cel al dioxidului de carbon [4, 7]. În plus, producția și transportul îngrășămintelor de azot contribuie și ele la emisiile de gaze cu efect de seră. În consecință, culturile alimentare care necesită cantități mari de îngrășăminte azotate tind să aibă o amprentă de carbon mai mare [8].

Emisiile de gaze cu efect de seră per tonă de acid azotic variază de la 2,8 t CO_2 eq/t de acid azotic în Europa, America de Nord și restul lumii la 3,6 t CO_2 eq/t de acid azotic în China și India. Este important de reținut că, în aplicarea îngrășămintelor sintetice, se disting trei tipuri de nutrienți: N, P și K, cu emisii zero de GES din aplicarea fosforului și a potasiului [4].

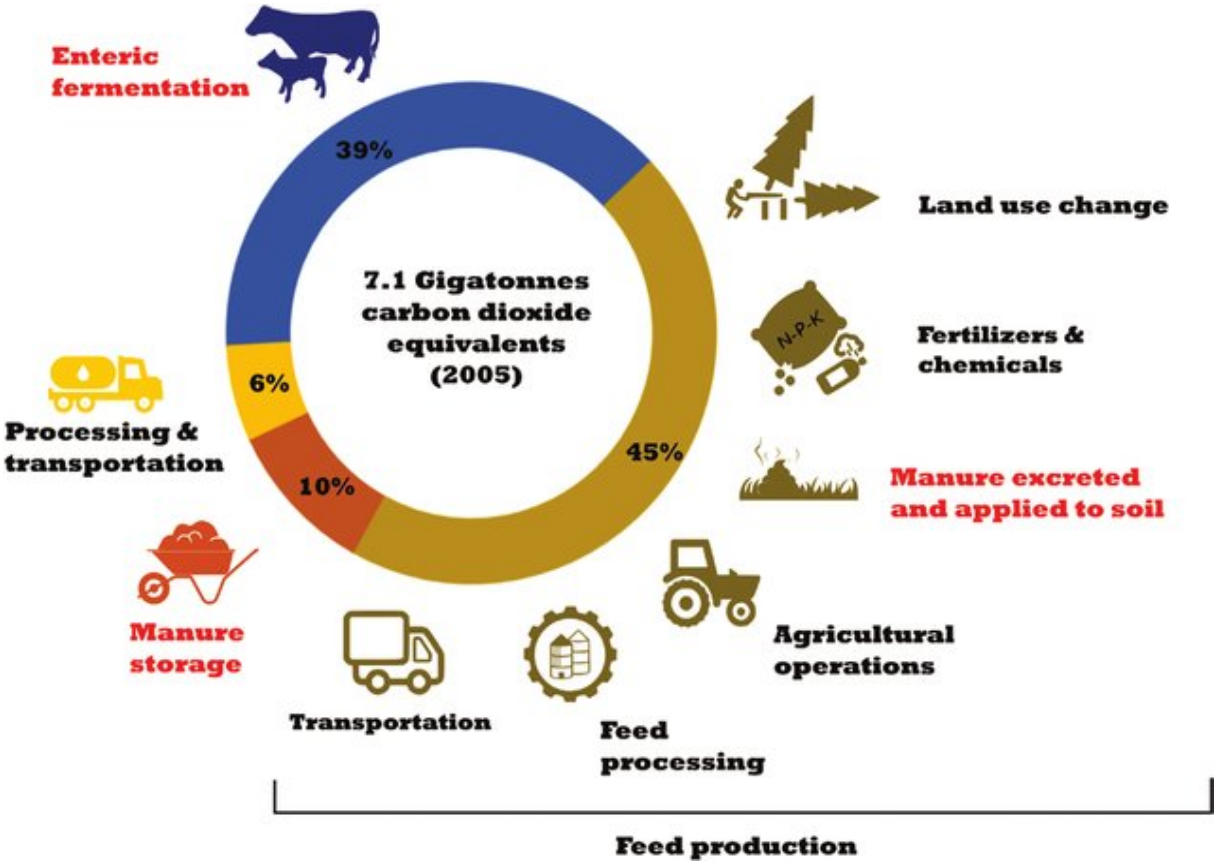


Figura 3. Contribuții ale emisiilor provenite din diferite procese în producția de hrană pentru animale și emisii directe (cuvinte în roșu) [1, 8].

Materia organică din sol poate fi menținută numai printr-o aprovizionare constantă cu materie organică proaspătă provenită din reziduurile de culturi, îngrășăminte verzi și gunoi de grajd.

Gunoiul de grajd este o sursă importantă de materie organică, în special pe terenurile cultivate. Cu toate acestea, aplicarea gunoiului de grajd ca îngrășământ pentru culturile furajere și depunerea acestuia pe pășuni determină o cantitate semnificativă de emisii de oxizi de azot, reprezentând aproximativ jumătate din aceste emisii [9]. Atunci când animalele sunt ținute pe pășuni, excrementele

lor (urină și fecale) sunt eliminate în sol. Prin urmare, emisiile de GES provenite de la pășunat ar trebui să fie contabilizate ca parte a emisiilor totale de GES provenite de la produsele de origine animală.

Atunci când gunoiul de grajd este aplicat în cantități mari, conținutul ridicat de N poate avea efecte negative. Acest lucru se manifestă prin niveluri ridicate de levigare a nitraților și emisii de amoniac și, prin urmare, prin eutrofizare și acidificare. Atunci când gunoiul de grajd este aplicat pe pajiști sau pe terenuri cultivate, acesta înlocuiește (parțial) utilizarea îngrășămintelor sintetice (N, P și K) și, teoretic, pot fi evitate emisiile rezultate din producția de îngrășăminte sintetice [4].

Deși producția de furaje duce adesea la creșterea concentrațiilor de azot în solurile agricole, o bună gestionare a gunoiului de grajd poate reduce nevoia de îngrășăminte artificiale.

Furajele sunt adesea transportate pe distanțe lungi până la animalele care le vor consuma. Acest transport are ca rezultat emisii de gaze cu efect de seră, în special CO_2 și oxizi de azot emiși de camioane și alte vehicule. **Emisiile rezultate din transportul furajelor** și al componentelor acestora variază foarte mult, dar recomandarea lui Welling și colaboratorii [4] este o implementare a unei metode unice de calcul standardizate, independentă de componentele care alcătuiesc furajele. Blonk și colaboratorii [5] raportează, de asemenea, variații în ceea ce privește contribuția emisiilor de GES provenite din transport la totalul emisiilor de GES în producția de carne de vită. Acești autori au constatat că, pentru producția de carne de vită în sistemul vacă-vițelușă din Irlanda, contribuția transportului la emisiile totale de GES a fost mai mică de 4%. Producția de carne de porc a contribuit de patru ori mai mult la emisiile totale (16%).

Emisiile provenite din combustibili fosili și electricitate în producția de furaje apar în aproape toate etapele de producție, dar sunt încă asociate în principal cu transportul și funcționarea utilajelor [4, 8]. Combustibilii fosili sunt în general utilizați pentru a transporta furajele și inputurile utilizate în producția acestora (pentru a alimenta camioane, nave și alte vehicule de transport). Emisiile de gaze cu efect de seră sunt cauzate în principal de arderea acestor combustibili, eliberând direct CO_2. Acest lucru poate fi deosebit de semnificativ pentru inputurile și furajele care sunt produse într-o parte a lumii și apoi transportate pe distanțe mari către fabricile de furaje, depozite sau ferme. În plus față de aceste emisii de ardere, emisiile de gaze cu efect de seră (inclusiv emisiile de metan și N_2O) sunt generate în timpul producției și transportului acestor combustibili, al producției de bunuri de capital, precum și al producției și funcționării rețelei de distribuție [4]. Contribuția emisiilor asociate poate varia de la 5 % până la aproape 40 % din emisiile provenite exclusiv din combustie [5]. Electricitatea este generată din combustibili fosili și din alte surse de energie, cum ar fi energia nucleară și hidroenergia. Combinația de surse de energie pentru producerea de energie electrică este diferită pentru fiecare sistem energetic. Eficiența conversiei energiei fosile în energie electrică variază în funcție de tipul de tehnologie utilizată [4].

Prelucrarea industrială a furajelor poate avea un impact semnificativ asupra emisiilor de gaze cu efect de seră (GES), atât direct, cât și indirect. Impactul direct se referă în principal la consumul de energie electrică și de combustibili fosili asociat cu utilizarea utilajelor industriale și a mecanizării în procesele tehnologice de prelucrare și producție, precum și la transportul materiilor prime și al nutrienților. În plus, emisiile de GES generate în alte etape ale producției de furaje pot fi strâns legate de emisiile generate în timpul prelucrării industriale (de exemplu, producția de aditivi, suplimente, enzime etc.). Ca exemplu, producția unui kilogram de aminoacid sintetic treonină duce la emiterea a 16978 de grame de CO_2-eq [4]. În acest context, este important să menționăm influența pe care utilizarea furajelor prelucrate industrial o poate avea asupra proprietăților gunoiului de grajd. Și anume, compoziția mai bogată în nutrienți a acestor furaje se reflectă și în proprietățile gunoiului de grajd, ceea ce poate duce la creșterea emisiilor de CH_4 și de oxizi de azot (N_2O). Se poate concluziona că, în

cadrul sectorului producției de furaje, etapa de prelucrare industrială este un domeniu important în eforturile de reducere a amprentei de carbon.

Pe scurt, producția de furaje are un impact semnificativ asupra emisiilor de gaze cu efect de seră, iar eforturile de atenuare a schimbărilor climatice trebuie să abordeze acest aspect. Strategiile de reducere a amprentei de carbon a producției de furaje pot include creșterea eficienței utilizării îngrășămintelor, promovarea practicilor durabile de utilizare a terenurilor și reducerea distanțelor de transport al culturilor furajere și al altor inputuri. În cele din urmă, pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră și pentru a atenua efectele schimbărilor climatice, este necesară o abordare holistică care să cuprindă întregul lanț de aprovizionare cu animale.

Schimbarea categoriei de utilizarea a terenurilor

Terenurile agricole ocupă aproape 40% din suprafața totală a uscatului, din care aproximativ 60% sunt destinate hrănirii animalelor [10]. Datorită creșterii preconizate a populației, se așteaptă ca cererea și consumul de produse animaliere să crească. Acest lucru ar duce în mod inevitabil la o creștere a cererii de terenuri arabile necesare pentru cultivarea culturilor utilizate pentru hrana animalelor. Acesta este un proces al cărui scenariu este deja cunoscut din punct de vedere istoric, deoarece intensificarea întregii agriculturi, inclusiv a creșterii animalelor, a avut loc încă de la începutul secolului al XX-lea. Partea negativă a acestui proces este cu siguranță schimbarea categoriei de utilizare a terenurilor, care se referă în principal la transformarea pădurilor și a pășunilor în terenuri arabile pentru producția de furaje. Acest lucru poate duce la o creștere a eliberării de dioxid de carbon în atmosferă, în timp ce, pe de altă parte, procesul de absorbție și stocare a dioxidului de carbon devine dezactivat. Pe scurt, în acest fel, este perturbat echilibrul ciclului carbonului în natură, ceea ce, în condițiile moderne de industrializare accelerată, are efecte dezastruoase asupra mediului, în special în ceea ce privește schimbările climatice.

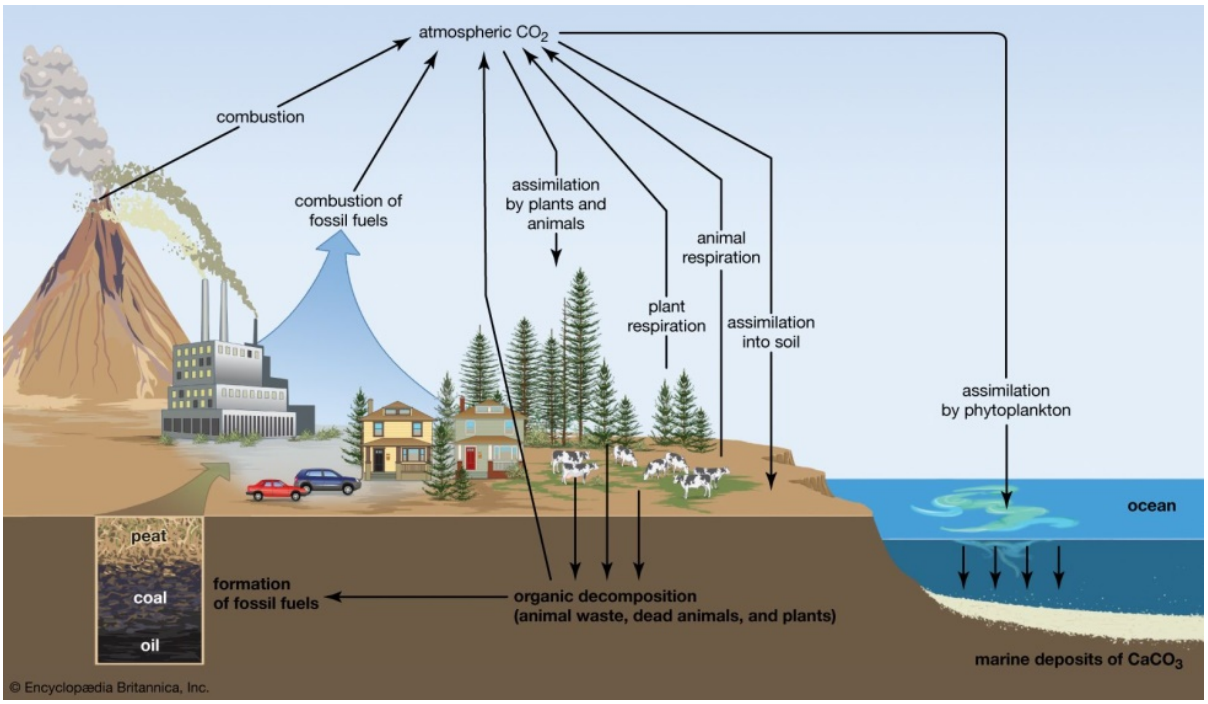


Figura 4. Ciclul carbonului [11]

Mai exact, prin procesul de fotosinteză, plantele absorb dioxidul de carbon din atmosferă și îl stochează în biomasa de deasupra solului și din sol. Este important de subliniat faptul că terenurile forestiere au

o capacitate mai bună de a absorbi carbonul în comparație cu terenurile cultivate și pășunile, ceea ce face ca acestea să fie principalul rezervor alături de ocean (Figura 4).

Tabelul 2. Emisiile GES datorate schimbării categoriilor de utilizare a terenurilor [4]

	grâu Franța	soia Brazilia	rapiță Germania	palmier Malaezia
Input N gunoi de grajd organic (kg/ha)	29	41	62	27
Input N fertilizatori sintetici (kg/ha)	119	3	200	130
Producție medie (kg/ha)	6565	2442	3610	21300
Randament co-produs (kg/ha)	3764	0	0	0
Emisiile alocate produsului principal (-)	0.78	1	1	1
GES produs principal (g/kg)	337	477	1032	604
Emisii datorate schimbării categoriei				
FeedPrint (bazată pe 1180 kg/ha) (g/kg)	141	483	327	55
Audsley și colab. (2010) (1430 kg/ha)* (g/kg)	171	585	396	67
FAO (2010) (g/kg)	0	7690	0	-
Leip și colab. (2010) (g/kg)	35	1099 – 1207	153	-

Conversia terenurilor forestiere în terenuri cultivate și pășuni duce la eliberarea în atmosferă a unei cantități mari de carbon stocat. Conform literaturii de specialitate, au fost elaborate mai multe metode pentru a estima emisiile de GES cauzate de schimbarea utilizării terenurilor, dar nu există încă un consens între oamenii de știință cu privire la fiabilitatea acestora. Tabelul 2 prezintă o comparație a valorilor emisiilor obținute prin diferite metode de evaluare selectate [7].

Chiar dacă schimbarea categoriei de utilizare a terenurilor în epoca modernă a contribuit deja în mod semnificativ și negativ la schimbările climatice, studiile arată că sunt încă posibile îmbunătățiri [1, 8]. Potrivit Grupului interguvernamental de experți privind schimbările climatice (IPCC) [12], punerea în aplicare în timp util și continuă a unor practici agricole îmbunătățite și a unor măsuri forestiere este importantă pentru atenuarea schimbărilor climatice, deoarece acestea pot contribui în mod semnificativ la eliminarea dioxidului de carbon din atmosferă. În primul rând, acest lucru include o gestionare îmbunătățită a terenurilor cultivate și a pășunilor - de exemplu, utilizarea mai eficientă a îngrășămintelor pentru a preveni levigarea nitraților nefolosiți, practici de cultivare a solului care reduc la minimum eroziunea solului, refacerea solurilor organice și refacerea solurilor degradate.

Bibliografie

1. Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Tackling Climate Change through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities.* https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133417883
2. Sonesson, U., C. Cederberg, M. Berglund. (2009). Greenhouse gas emissions in milk production. Decision support for climate certification. Report 2009:3. Available from http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/ uploads/2009/12/2009-2-feed.pdf
3. de Vries, M., de Boer, I. J. M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, *128*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007
4. Vellinga, T. V., Blonk, H., Marinussen, M., Zeist, W. J. van, Starmans, D. a. J. (2013). *Methodology used in FeedPrint: A tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization*

(No. 674; p. 121). Wageningen UR Livestock Research. https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/438366

5. Blonk, H., Cabbage, A., Luske, B., Waart, S. De, Pierick, E. Ten (2012). Environmental effects of Dutch consumption of protein-rich products: consequences of replacing animal proteins in 2008. WUR. https://www.wur.nl/nl/publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-333639373832
6. Blonk, T.J., Ponsioen, (2010). Towards a tool for assessing carbon footprints of animal feed.Report Blonk Milieu Advies, November 2009, Gouda, the Netherlands, 62 pp.
7. Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022). Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. *Atmosphere*, *13*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/atmos13010140
8. Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A. G. (2019). Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, *9*(1), 69–76. https://doi.org/10.1093/af/vfy034
9. Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A. T., Yang, W. Z., Tricarico, J. M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A review. *Animal*, *7*(s2), 220–234.

https://doi.org/10.1017/S1751731113000876

10. Land use in agriculture by the numbers | Sustainable Food and Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Retrieved 31 March 2023, from https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/
11. *Carbon Sequestration | Definition, Methods, & Climate Change | Britannica*, 2023. Retrieved 31 March 2023, from https://www.britannica.com/technology/carbon-sequestration
12. AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change—IPCC. (n.d.). Retrieved 31 March 2023, from https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/

Strategii de limitare a efectelor: gestionarea resurselor funciare, gestionarea fermentației enterice și a gunoiului de grajd

În capitolele anterioare, s-a menționat deja că producția animală este o sursă semnificativă de emisii de gaze cu efect de seră, reprezentând 14,5% din totalul emisiilor antropice [1]. Gazele cu efect de seră (GES) rețin căldura în atmosfera Pământului, ceea ce duce la creșterea temperaturilor și la alte schimbări climatice. Prin urmare, atenuarea emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) provenite din creșterea animalelor este crucială pentru combaterea schimbărilor climatice și reducerea riscurilor asociate, degradarea mediului, protejarea ecosistemelor și a biodiversității, îmbunătățirea sănătății publice și a stabilității economice și promovarea unui viitor mai durabil și mai echitabil pentru toți. Deși eforturile de adaptare sunt, de asemenea, esențiale, limitarea și combaterea efectelor rămân cele mai eficiente modalități de a aborda cauzele profunde ale acestor provocări, deoarece sectorul zootehnic contribuie în mod semnificativ la emisiile globale. În acest sens, strategia UE intitulată „carbon farming" capătă o importanță din ce în ce mai mare în ultimii ani. Aceasta se concentrează pe gestionarea atât a terenurilor, cât și a animalelor, prin gestionarea stocurilor de carbon din sol, a materialelor și a vegetației, a fluxurilor de gaze cu efect de seră (GES) la nivelul fermei, cu scopul de a atenua schimbările climatice. „Carbon farming" include practici și schimbări în utilizarea terenurilor care produc unul sau mai multe dintre următoarele rezultate:

1) captarea (sechestrarea) și stocarea ulterioară a carbonului în biomasa de la suprafață/subterană și pe terenurile agricole;

2) evitarea emisiilor viitoare de CO_2 și alte GES; și/sau

3) reducerea emisiilor existente de CO_2 și alte GES.

Deoarece emisiile de GES din sectorul zootehnic variază în mod semnificativ între sistemele de producție și regiuni, Gerber și colaboratorii [1] consideră că potențialul de atenuare se află în diferența dintre practicile de gestionare care determină cele mai mici și cele mai mari rate de emisie. Prin punerea în aplicare a practicilor utilizate în prezent de primii 25% dintre producătorii cu cea mai mică intensitate a emisiilor, emisiile din sectorul zootehnic ar putea fi reduse cu 18%. În plus, dacă s-ar adopta tehnicile utilizate de primii 10% dintre producători, emisiile ar putea fi reduse cu 30%.

Sectorul zootehnic este responsabil pentru emisiile antropice de gaze cu efect de seră, dar, în același timp, are un potențial semnificativ de atenuare. Literatura științifică contemporană oferă o multitudine de date cu privire la posibilele măsuri de atenuare a schimbărilor climatice din perspectiva creșterii animalelor. Tabelul 1 prezintă principalele strategiilor de atenuare conform Grossi și colaboratorii [2].

Tabelul 1: Potențialul de atenuare al principalelor strategii în producția animalieră (fără a lua în considerare resursele funciare) [2].

		Efect de atenuare potențial*	
Strategia	Categorie	Metan	Oxid de azot
Fermentarea enterică	Calitatea furajelor	Redus spre mediu	†
	Procesarea furajelor	Redus	Redus
	Includerea concentratelor	Redus spre mediu	†
	Lipide alimentare	Mediu	†
	Receptori de electroni	Ridicat	†
	Ionoforeză	Redus	†
	Inhibitori ai metanogenezei	Redus	†
Gunoi de grajd	Separare lichid-solid	Ridicat	Redus

	Digestie anaerobă	Ridicat	Ridicat
	Timp de depozitare redus	Ridicat	Ridicat
	Îndepărtarea frecventă	Ridicat	Ridicat
	Alimentarea în faze	‡	Redus
	Proteine alimentare reduse	‡	Mediu
	Inhibitori ai nitrificării	‡	Mediu spre ridicat
	Fără păşunat pe sol umed	Redus	Mediu
	Productivitate crescută	Ridicat	Ridicat
Managementul animalelor	Secţie genetică	Ridicat	‡
	Sănătatea animalelor	Redus spre mediu	Redus spre mediu
	Eficienţă reproductivă crescută	Redus spre mediu	Redus spre mediu
	Mortalitate redusă	Redus spre mediu	Redus spre mediu
	Sisteme de adăposturi	Mediu spre ridicat	Mediu spre ridicat

**ridicat = ≥30% efect de atenuare; Mediu = 10–30% efect de atenuare; redus = ≤10% efect de atenuare.*
†Rezultate neconforme/variabile.
‡ Incertitudine din cauza cercetărilor limitate sau a lipsei de date.

Managementul resurselor funciare

Gestionarea resurselor funciare poate fi esenţială pentru atenuarea impactului animalelor asupra mediului. Se consideră că strategiile de atenuare care se bazează în primul rând pe îmbunătăţiri în gestionarea terenurilor sunt mult mai eficiente decât cele care se concentrează în primul rând pe reducerea emisiilor provenite de la animale [3]. Aceiaşi autori sugerează că trecerea la sisteme de creştere a animalelor mai eficiente şi mai puţin solicitante poate reduce semnificativ emisiile. De exemplu, se ştie că creşterea vitelor în ferme de furaje duce la emisii mai mici în comparaţie cu sistemele de păşunat. Cu toate acestea, prin aplicarea unor măsuri adecvate în gestionarea păşunilor şi a producţiei animaliere, aceasta ar putea contribui cu până la 7% din potenţialul global de atenuare a impactului agriculturii asupra emisiilor de gaze cu efect de seră până în 2030 [4].

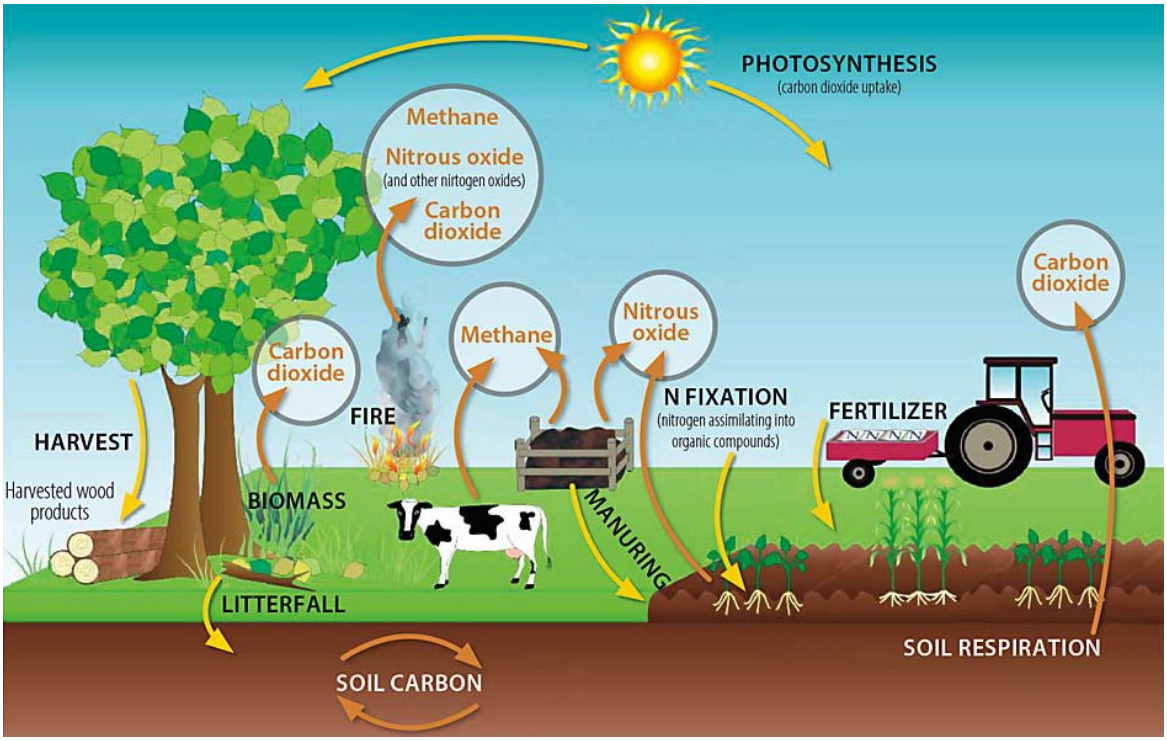


Figura 1: Principalele surse de GES și procese în managementul funciar [5].

Strategiile care ar putea fi puse în aplicare includ practici bazate pe principiile agriculturii regenerative și "carbon farming". Practicile menționate se bazează în principal pe sechestrarea carbonului.

Sechestrarea carbonului este procesul de captare a dioxidului de carbon din atmosferă și de stocare a acestuia în sol. S-a estimat că solul de sub culturi și pășuni poate stoca până la 8,6 gigatone de dioxid de carbon pe an [5]. Prin urmare, îmbunătățirile în gestionarea și utilizarea suprafețelor agricole (pășuni, câmpuri etc.) care au ca rezultat sechestrarea eficientă a carbonului în sol pot atenua impactul sistemelor de creștere a animalelor asupra mediului. Prin aplicarea diferitelor practici agricole - denumite în mod obișnuit „agricultură regenerativă" și „agricultură bazată pe carbon" - este posibil să se creeze noi rezervoare de carbon sau să se mărească cele existente:

-practici de creștere a productivității: fertilizare, irigare, utilizarea de specii de ierburi perene productive, prezența leguminoaselor

-producerea de culturi cu randamente mai mari, care pot reduce nevoia de utilizare suplimentară a terenurilor și pot contribui la protejarea pădurilor și a pășunilor existente. Acest lucru poate duce, de asemenea, la o mai bună sechestrare a carbonului, deoarece crește cantitatea de carbon stocată în biomasa vegetală și în sol.

-conversia terenurilor arabile în pajiști și îmbunătățirea compoziției floristice a pajiștilor contribuie la sechestrarea carbonului prin îmbunătățirea sănătății solului și prin promovarea creșterii plantelor cu rădăcini adânci care pot stoca mai mult carbon în sol. Acest lucru poate avea, în plus, un efect pozitiv asupra reducerii eroziunii și îmbunătățirii calității apei.

-conservarea - reducerea prelucrării solului (arat la mică adâncime), care reduce degradarea solului în timpul producției agricole și previne eliberarea excesivă de carbon în atmosferă.

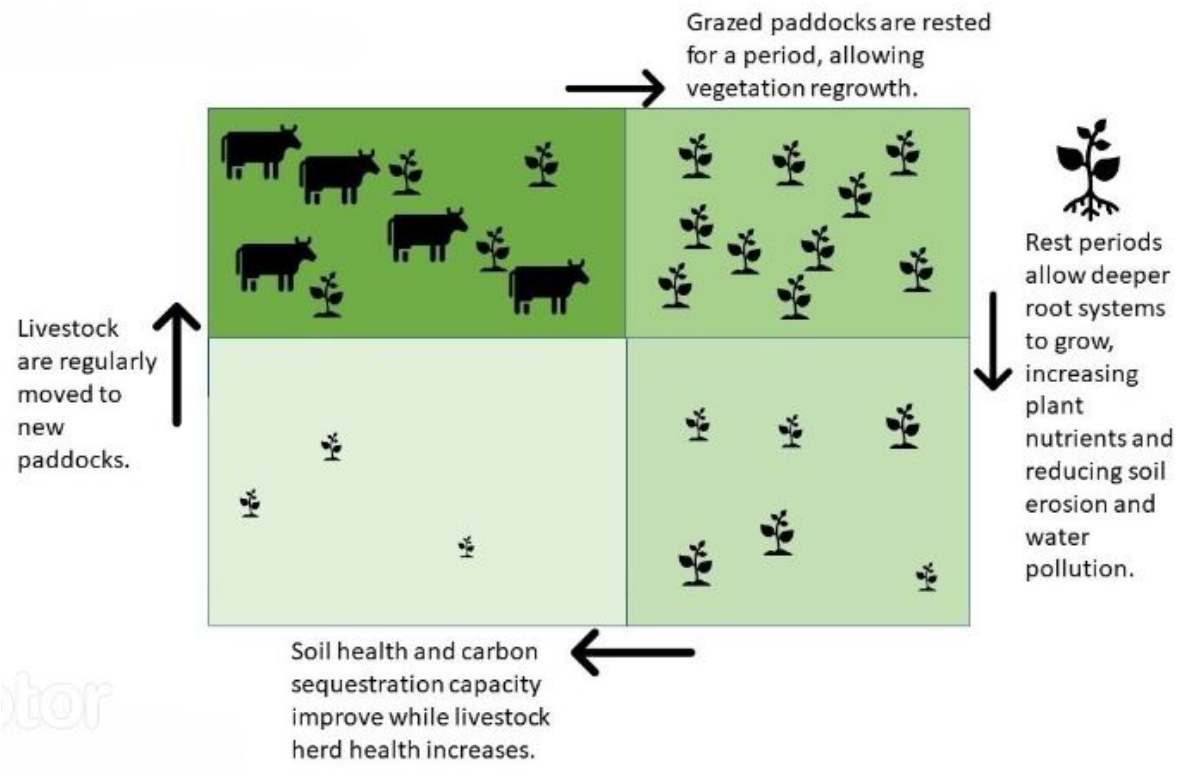


Figura 2. Avantajele sistemelor de rotație a pășunatului [7].

-aplicarea practicilor utilizate în agricultura ecologică și durabilă, cum ar fi acoperirea culturilor, aplicarea compostului etc, care sunt în principiu apropiate de principiile agriculturii regenerative

-reducerea defrișărilor, datorită rolului semnificativ al acestora în procesul de sechestrare a carbonului și de asigurare a echilibrului ecologic

-aplicarea pășunatului animalelor domestice pe suprafețe cu arbori integrați în cadrul plantelor furajere cultivate. Pe lângă beneficiile copacilor asupra fertilității pajiștilor și a sechestrării carbonului din sol, hrănirea cu frunze bogate în taninuri poate reduce emisiile de metan în intestinele rumegătoarelor [6].

-îmbunătățirea managementului pășunilor are potențialul de a capta aproximativ 0,15 gigatone de dioxid de carbon echivalent pe an la scară globală [8]. Aplicarea sistemului de pășunat rotațional se reflectă favorabil nu numai asupra păstrării calității pășunilor, ci prin productivitatea mai mare și creșterea mai bună a rădăcinilor, se asigură o mai mare acumulare de materie organică (carbon). În plus, sechestrarea pe astfel de pășuni poate fi crescută prin aplicarea unor măsuri de agricultură regenerativă, prin adăugarea de compost, de exemplu. Aici, însă, este important de subliniat faptul că efectul de sechestrare obținut în acest mod nu este permanent, ci se măsoară pe parcursul anilor sau deceniilor. Prin urmare, este sigur că, la un moment dat, emisiile de gaze vor depăși depunerea lor în sol și acest sistem de pășunat va deveni din nou o sursă de emisii.

-managementul durabil al reziduurilor agricole poate aduce beneficii duble - creșterea rezervei de carbon prin descompunerea reziduurilor vegetale în sol și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin utilizarea biomasei rămase pentru producerea de bioenergie în locul combustibililor fosili [9].

Managementul fermentației enterice

Reducerea emisiilor de metan de la rumegătoare reprezintă o provocare semnificativă în sectorul producției de rumegătoare. Au fost sugerate diverse strategii pentru a aborda această problemă, acestea putând fi împărțite, în general, în patru categorii:

1) manipularea regimului alimentar

2) aditivi pentru hrana animalelor

3) vaccinuri și

4) selecția genetică.

Aceste opțiuni au niveluri diferite de eficacitate în ceea ce privește reducerea emisiilor de metan, după cum se arată în Tabelul 1. Accentul se pune pe îmbunătățirea eficienței fermentației ruminale și pe creșterea productivității animalelor pentru a reduce emisiile de metan.

Manipularea dietei

Calitatea și digestibilitatea furajelor au un impact semnificativ asupra producției de metan enteric. Odată cu maturizarea plantelor, se înregistrează o creștere a conținutului de lignină, ceea ce reduce digestibilitatea acestora. Recoltarea furajelor, în special a ierbii, într-un stadiu mai timpuriu de maturitate pentru însilozare poate crește conținutul de carbohidrați solubili și reduce lignificarea. Practicile menite să îmbunătățească calitatea furajelor au arătat o reducere potențială a metanului enteric de aproximativ 5% pe unitate de lapte corectat cu proteine grase, potrivit lui Knapp și colab. [10]. Prelucrarea fizică a furajelor - tocarea, măcinarea și aburirea, îmbunătățește, de asemenea, digestibilitatea acestora și ameliorează producția de metan în intestinele rumegătoarelor [11]. Cu toate acestea, potențialul unei astfel de reduceri a emisiilor nu este semnificativ, adică este mai mic de 2% pe unitatea de 4% m.m. lapte corectat [10].

Creșterea proporției de concentrat în rațiile rumegătoarelor pentru a îmbunătăți digestibilitatea hranei este o altă strategie eficientă pentru reducerea emisiilor de metan. Potrivit lui Knapp și colaboratorii [10], această abordare poate reduce semnificativ emisiile de metan - până la 15% pe unitate de 4% m.m. de lapte corectat cu o proporție de concentrat de 35-40%. Cu toate acestea, simultan cu creșterea proporției de nutrienți concentrați (carbohidrați fermentescibili) în mese, crește și riscul de apariție a unor boli metabolice, cum ar fi acidoza ruminală [1].

Prin urmare, este important să se analizeze cu atenție raportul dintre nutrienții în vrac și concentrați atunci când se implementează această strategie.

Adăugarea de grăsimi sau de acizi grași în hrana rumegătoarelor poate reduce emisiile de metan enteric prin reducerea proporției de energie provenită din carbohidrații fermentescibili și prin modificarea populației microbiene din rumen [12]. Unele subproduse, cum ar fi semințele de bumbac, boabele de bere și făina de canola presată la rece, s-au dovedit eficiente în reducerea fermentației enterice [13]. Suplimentarea cu lipide alimentare la un nivel de 5% până la 8% din aportul de materie uscată este o strategie eficientă pentru atenuarea emisiilor de metan, după cum au raportat Grainger și Beauchemin [14]. În acest fel, emisia de metan enteric poate fi redusă cu aproximativ 15% pe unitate de lapte corectat cu 4% m.f. [10].

Cu toate acestea, potențialul de atenuare al subproduselor cu conținut ridicat de ulei este încă insuficient studiat. În unele cazuri, producția de metan poate crește din cauza creșterii aportului de fibre [11]. Includerea de lipide într-un procent mai mare de 10 % poate perturba funcția ruminală prin modificarea populației microbiene, ceea ce reduce digestibilitatea fibrelor. Acest lucru poate duce la creșterea excreției de materie organică și nutrienți, precum și a emisiilor de metan din gunoiul de grajd. Adăugarea de lipide poate, de asemenea, să afecteze negativ fermentația ruminală, sinteza grăsimilor din lapte și compoziția acizilor grași. Hrana cu un conținut mai mare de ulei și semințe oleaginoase reduce consumul de furaje și digestibilitatea fibrelor, astfel încât, în general, nu este recomandată în dieta rumegătoarelor tinere și a celor aflate la îngrășare. Pe de altă parte, utilizarea lor poate fi stimulativă la animalele care alăptează [15,16]. Atunci când se ia în considerare utilizarea uleiului pentru reducerea emisiilor, este important să se ia în considerare faptul că producția de semințe oleaginoase este asociată cu o creștere semnificativă a emisiilor de GES pe kg de materie uscată [16].

Aditivi pentru furaje

Cei mai frecvent utilizați aditivi alimentari cu capacitatea de a modifica procesele biochimice ruminale în direcția suprimării metanogenezei sunt fitobioticele, probioticele, acizii organici și ionoforii [17, 18]. Deși un număr semnificativ de studii anterioare au demonstrat eficacitatea utilizării lor, pentru o aplicare mai largă, sunt necesare cercetări mai ample pentru a exclude efectele secundare, cum ar fi posibila toxicitate și riscurile asociate pentru sănătate.

Includerea de metaboliți secundari din plante medicinale și aromatice (PAM) în dieta rumegătoarelor duce la o modulare semnificativă a microbiomului ruminal, favorizând creșterea microorganismelor benefice și inhibând microbii metanogeni [19]. Aceste așa-numite fitobiotice modifică modelele de fermentare ruminală prin stimularea sintezei de propionat și a altor acizi grași volatili, limitând în același timp hidrogenul necesar pentru metanogeneză. Această redirecționare metabolică contribuie și mai mult la reducerea emisiilor de metan. În cele din urmă, anumiți metaboliți au acțiune antimicrobiană, ceea ce reprezintă o altă modalitate directă de inhibare a metanogenezei [20].

Cei mai semnificativi metaboliți secundari prezenți în plante care sunt importanți pentru reducerea emisiilor de metan sunt: uleiurile esențiale, saponinele, taninurile, polifenolii și flavonoidele.

Uleiurile esențiale pot afecta procesele fermentative din rumen, ceea ce duce la reducerea producției de CH_4 in vitro. Unele studii au dat rezultate promițătoare cu o reducere a emisiilor de metan de până la 90% [21]. Se crede că uleiurile esențiale remodelează microbiomul intestinal într-un mod care reduce microorganismele metanogene [22]. Efectele supresive ale anumitor extracte și uleiuri esențiale pot fi atribuite naturii lor toxice, care duce la o scădere a populației de microorganisme din rumen, a fermentației microbiene și a metanogenezei [23]. Mecanismul acestei acțiuni nu este încă complet clar, astfel încât, pentru utilizarea adecvată a uleiurilor esențiale în suprimarea metanogenezei, este necesar să se efectueze cercetări mai ample în condiții in vivo.

Alți compuși bioactivi din plante - saponine, taninuri, polifenoli, flavonoide etc. - acționează în principal ca inhibitori ai microbilor metanogeni din sistemul gastrointestinal al rumegătoarelor. Astfel, saponinele inhibă protozoarele ciliate proteolitice și, prin defaunare, contribuie indirect la reducerea emisiilor de CH_4. Taninurile își exercită acțiunea prin inhibarea microorganismelor care sintetizează hidrogenul, precum și prin suprimarea metanogenilor [17]. Se consideră că potențialul flavonoidelor în atenuarea emisiilor de CH_4 este, de asemenea, semnificativ, dar sunt necesare cercetări mai ample în condiții in vivo.

Pornind de la saponine ca defaunători ai protozoarelor și taninuri ca inhibitori ai metano-inhibitorilor și supresori ai producției de H_2 în timpul fibrolizei, unele cercetări au abordat efectele acestor compuși vegetali asupra metanogenezei la rumegătoare. Un studiu realizat de Antonius și colab.[23], a arătat că suplimentarea cu *M. oleifera*, *C. longa* Linn. și *P. timoriana* în dietele rumegătoarelor a dus la creșterea în mod eficient a producției totale de gaz, digestibilitatea materiei uscate și a materiei organice și a redus emisiile de gaz CH_4 și populațiile de protozoare în timpul fermentației ruminale.

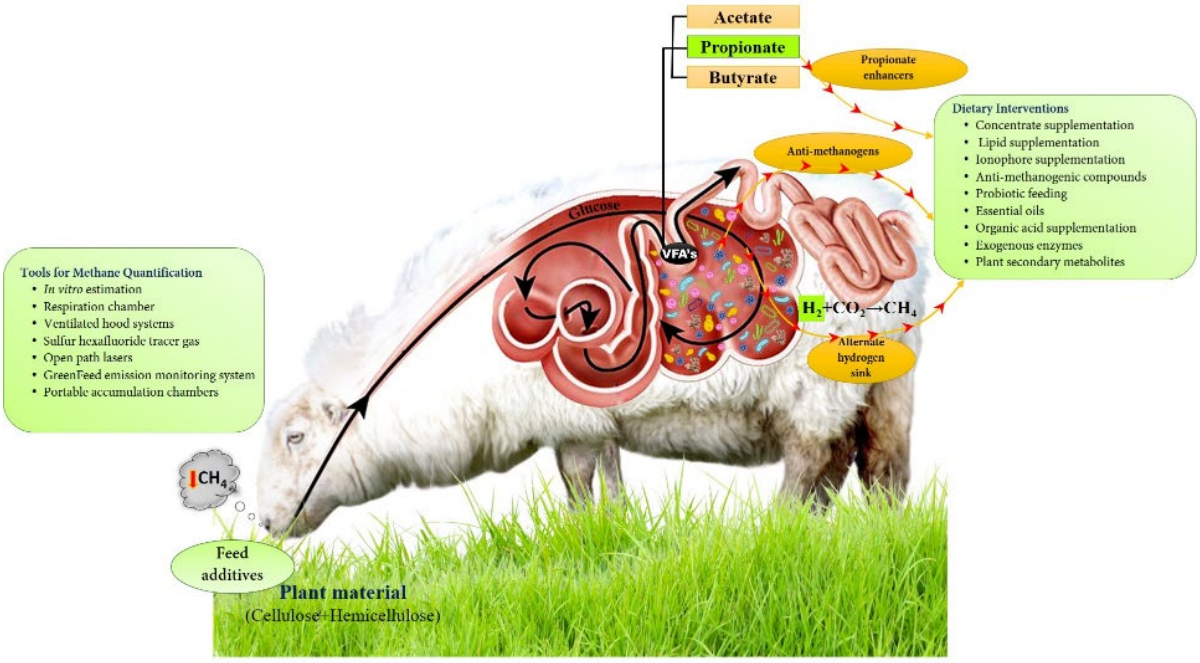


Figura 3. Metode de manipulare a dietei și modul lor de acțiune asupra reducerii emisiilor [25].

Alți compuși bioactivi din plante, cum ar fi polifenolii și flavonoidele, pot fi, de asemenea, utili într-o strategie de combatere a metanogenezei în rumen. Studiul in vitro realizat de Jo și colab. [26], a arătat că adăugarea de extracte (care conțin polifenoli și flavonoide) din PAM-uri orientale (*Vitis vinifera* L. și *Rhus succedanea* L.) în dietele pentru rumegătoare poate reduce producția de metan și prezența archaea metanogene.

Un studiu realizat de Rossi și colab. [27], a arătat că o combinație de uleiuri esențiale, bioflavonoide și taninuri a redus producția de metan cu 8 până la 22% in vitro. Concentrațiile optime de produs pentru 24 de ore au fost de 0,0025-0,005% DM în formă lichidă. Într-un studiu in vivo, s-a observat că acest amestec a îmbunătățit producția de lapte, digestibilitatea furajelor și rata de conversie a furajelor. Aceste constatări sugerează că produsele naturale, cum ar fi uleiurile esențiale, bioflavonoidele și taninurile, au potențialul de a reduce producția de metan, îmbunătățind în același timp performanța vacilor de lapte. Validarea ulterioară în cadrul unor studii in vivo ar putea duce la reducerea impactului asupra mediului al vacilor care alăptează.

Algele marine conțin compuși (polizaharide, proteine, peptide, lipide, florotanini, saponine și alcaloizi) care reduc producția de CH_4 prin suprimarea archaea și protozoarelor. Experimentele în care bovinele au fost hrănite cu alge au arătat o reducere notabilă a emisiilor de metan, îmbunătățind în același timp performanțele de producție. Dintre compușii găsiți în alge, bromoformul ($CHBr_3$) a prezentat cel mai înalt nivel de eficacitate în inhibarea metanogenezei [23].

Acizii organici sunt în mod obișnuit încorporați în hrana animalelor domestice din mai multe motive. Aceștia sporesc aciditatea hranei pentru animale, prevenind deteriorarea, ca în cazul silozului. Acest nivel îmbunătățit al pH-ului stimulează digestia și absorbția nutrienților, menținând în același timp un echilibru sănătos al microorganismelor din sistemul digestiv [23]. Atunci când este utilizat în doze mici, acidul formic reduce producția globală de gaze, dar dozele mai mari pot avea efectul opus [28]. Atât acidul formic, cât și acidul fumaric prezintă efecte inhibitoare semnificative asupra producției de gaze.

Ionoforii sunt utilizați în mod obișnuit ca aditivi în hrana animalelor pentru a îmbunătăți eficiența utilizării și greutatea corporală. Acești compuși acționează ca factori de inhibare a CH_4, favorizând creșterea și proporția bacteriilor Gram-pozitive din rumen, ceea ce duce la stimularea producerii acidului propanoic. Studiile au arătat că utilizarea ionoforilor, în special a monensinei, poate duce la reduceri semnificative ale producției de CH_4 la animale. Vacile Holstein tratate cu monensin au prezentat o scădere de 24,3 % a producției de CH_4 [29], în timp ce la boii Angus s-a înregistrat o scădere de 30 % a producției de CH_4 enteric [30]. Efectul monensinei de reducere a CH_4 este atribuit modificărilor în producția de acizi grași volatili în rumen. Este important de reținut faptul că suplimentarea excesivă a ionoforilor poate fi toxică pentru rumegătoare și că trebuie monitorizate nivelurile reziduale ale acestora în produsele de origine animală.

Probioticele sunt aditivi pe bază de culturi de bacterii și/sau drojdii. Introduse în organism, acestea aduc numeroase beneficii (asupra sănătății, reproducerii, producției) și sunt considerate din ce în ce mai mult ca un instrument în lupta împotriva emisiilor de metan prin manipularea microbiomului gastro-intestinal. Mecanismul efectului lor supresiv asupra metanogenezei se bazează pe faptul că direcționează procesele fermentative către producerea de propionat. Acest lucru reduce concentrația de hidrogen, ca precursor-cheie pentru sinteza metanului.

Într-un experiment in vitro recent, Chen și colab. [31], au constatat că anumite tulpini de bacterii de acid propionic (*Propionibacterium jensenii* LMGT2826, *Propionibacterium thoenii* LMGT2827 și *Propionibacterium thoenii* T159) au redus emisiile de CH4 cu 18%, 8% și 20% față de martor.

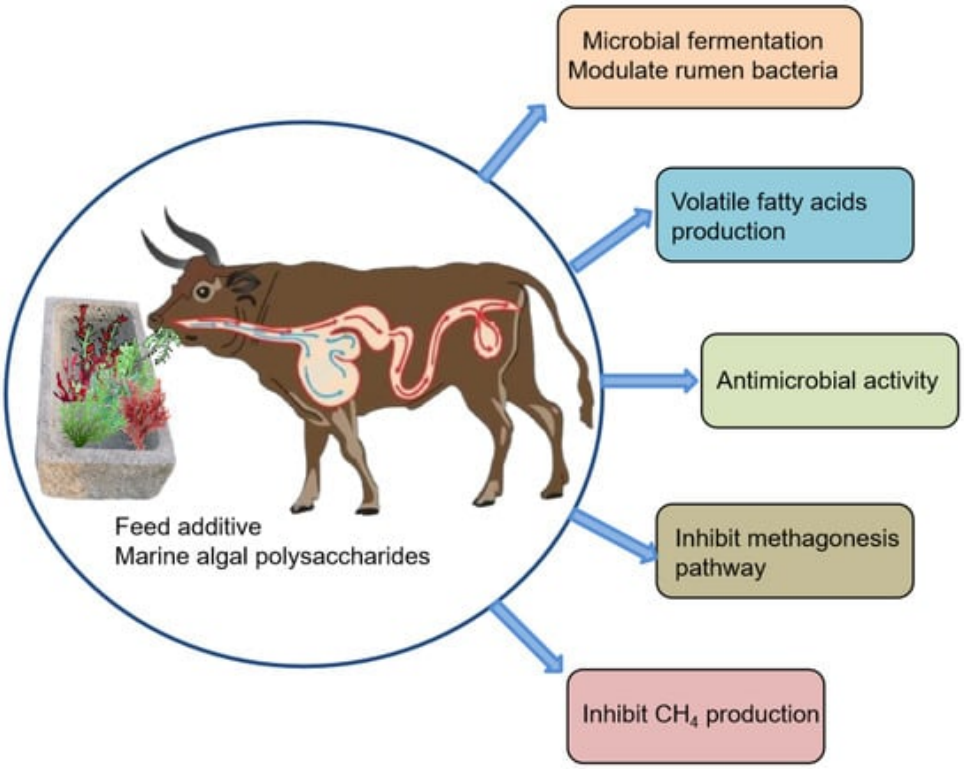


Figura 4. Polizaharide din alge marine ca aditivi furajeri care reduc metanul [20].

Vaccinurile

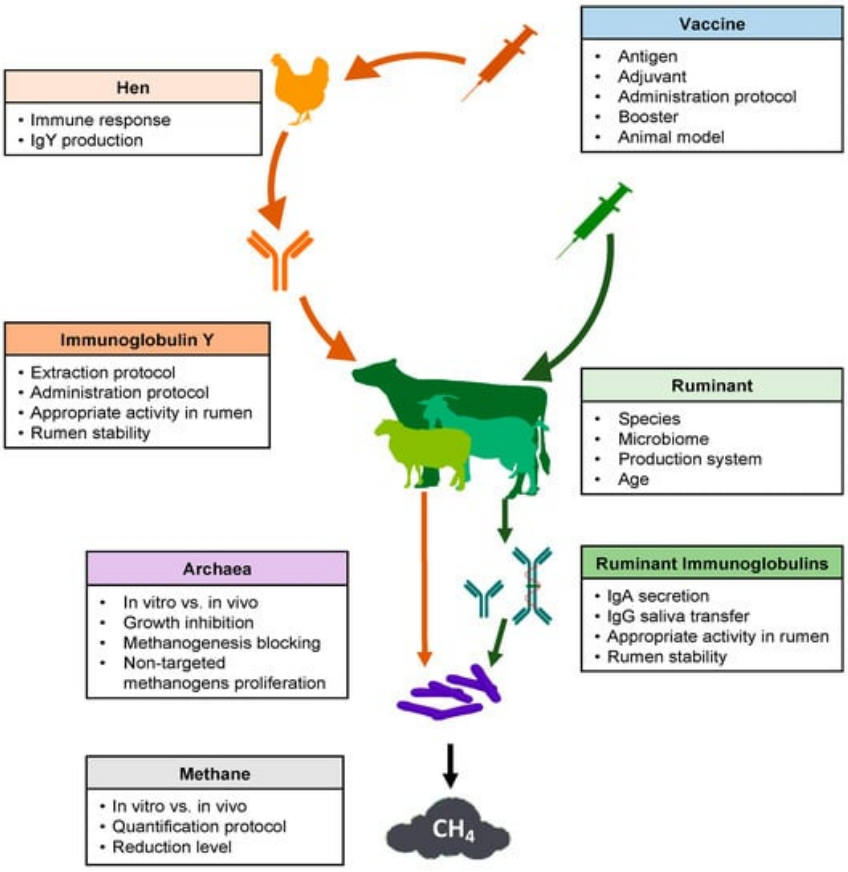


Figura 5. Considerații cheie pentru vaccinurile care reduc metanul la rumegătoare [32].

Scopul unor astfel de vaccinuri este de a declanșa răspunsul imunitar al animalului și crearea de anticorpi cu efect supresiv asupra activității metanogene. După sinteza anticorpilor în sângele și saliva animalului, aceștia trec continuu prin salivă în rumen, unde își exercită efectul. După vaccinare, odată inițiat, mecanismul de sinteză a anticorpilor ar trebui să asigure un efect supresiv asupra metanogenezei pentru o perioadă lungă de timp. Utilizarea vaccinurilor pentru a reduce producția de CH_4 la rumegătoare a fost sugerată ca o strategie promițătoare, dar eficacitatea sa este dificil de evaluat din cauza lipsei unor studii cuprinzătoare. De asemenea, varietatea metodelor utilizate în diferite studii face dificilă compararea rezultatelor. Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a determina fezabilitatea, implementarea practică și durabilitatea acestei strategii, inclusiv considerații precum capacitatea antigenică, Igs în salivă și modul de măsurare precisă a producției de CH_4 [32]. Conform estimărilor actuale ale cercetătorilor, primele vaccinuri nu se așteaptă să fie administrate înainte de 2030.

Selecția genetică

Utilizarea selecției genetice ca strategie de reducere a emisiilor de metan ar putea fi definită pe scurt ca fiind selecția și favorizarea indivizilor cu un cod genetic dezirabil din punct de vedere al reducerii producției și emisiilor de metan. Este posibil ca această strategie să nu dea rezultate rapide, dar pe termen lung poate fi foarte eficientă, deoarece permite schimbări cumulative și de durată. Problema aplicării sale constă în primul rând în faptul că este necesară generarea de baze de date privind emisiile de metan la animale, în timp ce, în prezent, doar câteva țări le înregistrează în mod activ. În plus, trebuie dezvoltate baze de date de referință genomice cuprinzătoare, precum și indicatori genetici preciși pentru trăsăturile emisiilor de CH_4 [16]. În cercetările anterioare, s-a constatat o moștenire mai mare a trăsăturilor de emisie de metan la oi (0,24-0,55) în comparație cu vacile de lapte (0,11-0,33).

Atunci când se aleg trăsăturile care ar fi indicatori de emisie, cele mai potrivite sunt: spectrul infraroșu (IR) al laptelui, timpul de ruminare, eficiența alimentară și compoziția microbiomului ruminal [33]. Cercetări recente efectuate pe un eșantion mare de peste 200.000 de vaci au confirmat că lungimile de undă ale spectrului IR al laptelui sunt ereditare [34]. Acest lucru indică faptul că ar fi posibil să se utilizeze covariența genetică între lungimile de undă spectrale informative și emisiile de metan. În consecință, acizii grași volatili din lapte au fost, de asemenea, propuși ca potențiali indicatori pentru producția de metan. O altă trăsătură care a atras un interes semnificativ ca indicator potențial pentru reducerea emisiilor este microbiomul ruminal. Difford și colab. [35], au efectuat un studiu pe 750 de vaci Holstein folosind ribotiparea ARNr 16S și au constatat că anumite bacterii și archaea erau asociate cu producția de metan și că exista o transmitere semnificativă la urmași. Un alt studiu care a utilizat tehnologia nanoporilor pentru a evalua metagenomii întregi de la 334 de vaci de lapte a relevat corelații genetice între concentrațiile de metan și diferite genuri de protiste, archaea, ciuperci anaerobe și bacterii. Studiile menționate subliniază rolul potențial important al microbiomului ruminal în înțelegerea și atenuarea emisiilor de metan. Zece ani de cercetări efectuate de Rowe et al. [36], au confirmat o corelație semnificativă între materialul genetic și producția de CH_4 la ovine. Rezultatele selecției genetice, și anume favorizarea genotipurilor cu emisii mai scăzute de metan, sunt avantajoase din punct de vedere economic: oile cu un randament mai mic de CH_4 (diferență de 12%) au îngrășat miei mai grei, mai cărnoși și cu un randament mai mare de lână.

Atunci când se ia în considerare selecția genetică ca strategie de reducere a emisiilor de CH_4, este important să se ia în considerare efectul acesteia asupra productivității. S-a constatat că, odată cu creșterea productivității, intensitatea emisiilor scade, dar acest efect este mai pronunțat la indivizii cu productivitate scăzută [18]. Cu toate acestea, selecția animalelor cu emisii scăzute ar trebui să ia în considerare și posibilul impact asupra eficienței utilizării furajelor, în special în ceea ce privește digestia NDF, care este importantă în producția de furaje. Factori precum rata de digestie, rata de furajare,

microbiomul ruminal și fermentația ruminală pot influența atât eficiența utilizării furajelor, cât și emisiile de CH_4 [16].

Selecția unilaterală pentru reducerea emisiilor de metan este inacceptabilă din punctul de vedere al creșterii animalelor. Prin urmare, se pune problema relației acesteia cu alte trăsături care au importanță pentru selecție. Pe baza cunoștințelor actuale, este puțin probabil ca selecția pentru reducerea emisiilor de metan la rumegătoare să aibă efecte semnificative asupra altor trăsături, cum ar fi reproducerea și sănătatea. Cu toate acestea, există dovezi ale existenței unei relații între producția de metan și producția de lapte, precum și cu consumul de materie uscată (DMI). Sunt necesare analize suplimentare pe seturi de date mai mari pentru a explora și confirma în continuare relațiile cu alte trăsături [37].

Deși promițătoare, utilizarea selecției genetice ca instrument pentru strategiile de atenuare nu permite o aplicare și rezultate rapide, astfel încât, în prezent, este mai important să ne concentrăm asupra altor strategii cu efecte mai rapide, împreună cu o activitate intensă de generare a condițiilor pentru aplicarea acesteia.

Managementul gunoiului de grajd

Gunoiul de grajd contribuie la emisiile de gaze cu efect de seră, deoarece prin descompunerea sa se eliberează metan și protoxid de azot. Nivelul emisiilor depinde în mare măsură de condițiile de mediu, de gestionarea și de compoziția acestuia [38]. Emisiile de metan și de oxid de azot sunt influențate de conținutul de materie organică și de azot din excremente.

Metanul este produs atunci când materia organică în condiții anaerobe este incomplet descompusă sub influența bacteriilor. Acest lucru se întâmplă cel mai adesea atunci când gunoiul de grajd lichid este depozitat sau tratat în bazine. Producția de metan poate fi intensificată suplimentar de o depozitare îndelungată, precum și de condițiile de mediu calde și umede.

Oxidul de azot este produs în principal de gunoiul de grajd solid, de depozitarea sau depunerea acestuia pe pășuni într-o combinație de condiții aerobe și anaerobe.

Emisiile de GES sunt, în general, mai mari în cazul sistemelor de gunoi de grajd solid. Numeroase studii au arătat că aplicarea diverselor practici poate contribui la reducerea emisiilor provenite din gunoiul de grajd. Unele dintre cele mai importante practici sunt următoarele:

Manipularea dietei este o practică care și-a găsit aplicarea în reducerea emisiilor nu numai în mod direct - prin modularea fermentației enterice, dar și indirect, aceasta putând afecta compoziția gunoiului de grajd [39]. Este vorba, în esență, de efectul unei diete echilibrate din punct de vedere proteic asupra denitrificării și emisiei de N_2O, care reduce excreția de azot prin dejecții. De asemenea, dietele îmbogățite cu tanin din surse naturale pot crește proporția de azot excretat în compuși organici prin fecale, mai degrabă decât în urină sub formă de uree, ceea ce, la rândul său, reduce potențialul de emisii de NH_3 și N_2O [40].

Manipularea temperaturii de depozitare se bazează pe prevenirea dezvoltării metanogenezei, care este favorizată de temperaturi mai ridicate. Prin urmare, răcirea gunoiului de grajd poate fi o modalitate rentabilă de reducere a emisiilor, în special în regiunile mai reci. Efectul va depinde de frecvența scoaterii gunoiului de grajd din grajd și de diferența de temperatură dintre medii. În unele sisteme de exploatație care permit răcirea activă a gunoiului de grajd în jgheabul de gunoi, s-a constatat că răcirea gunoiului de grajd la 42 ˚C reduce emisiile de CH_4 cu 16 % în comparație cu situația în care nu se răcește [41].

Compostarea gunoiului de grajd solid este un proces de descompunere aerobă a materiei sale organice sub influența microorganismelor în dioxid de carbon și apă. Acest proces poate fi îmbunătățit

prin întoarcerea gunoiului de grajd și aerisirea acestuia. Emisiile de metan pot fi reduse prin aerare, dar aceasta poate crește, de asemenea, nivelul emisiilor de CH_4 și N_2O prin comparație cu compostatul pasiv.

Acoperirea gunoiului de grajd solid în timpul depozitării cu paie sau folie de plastic duce, în general, la o reducere a emisiilor de N_2O și CH_4 și poate avea, de asemenea, un efect pozitiv asupra emisiilor de NH_3 [42].

Acoperirea gunoiului de grajd lichid în timpul depozitării are ca scop principal prevenirea emisiilor de NH_3. Pericolul emisiilor de N_2O în timpul depozitării gunoiului de grajd lichid este mic, cu excepția cazurilor de formare a spumei la suprafață. Spuma crește potențialul de nitrificare și denitrificare, ceea ce duce la emisii de N_2O, deoarece, odată cu uscarea spumei, are loc o intruziune de O_2 [43]. În mod similar, formarea gunoiului crește și potențialul de oxidare a metanului. Se folosesc capace și paie pentru a acoperi gunoiul de grajd lichid, deși paiele în sine reprezintă o formă de protecție. Deși toate metodele de acoperire duc la emisii globale mai mici de GES, cele mai bune rezultate sunt obținute prin combinarea capacelor de acoperire și a paielor.

Separarea gunoiului de grajd este un proces de separare mecanică a fracțiunii sale lichide și solide. Pentru a obține efectul dorit de reducere a emisiilor, sunt necesare măsuri suplimentare pentru fiecare dintre fracțiuni în procesul de depozitare a acestora. Acestea includ opțiunile de acoperire menționate mai sus, în timp ce digestia anaerobă este, de asemenea, recomandată pentru gunoiul de grajd solid.

Digestia anaerobă este o procedură tehnologică prin care materia organică ușor degradabilă din gunoiul de grajd și alte substraturi organice este transformată în biogaz (în principal CO_2 și CH_4). În acest fel, se obține un dublu beneficiu pentru mediu - utilizarea energiei din biogaz în locul combustibililor fosili și reducerea emisiilor de CH_4 în timpul depozitării gunoiului de grajd digerat, care este utilizat ulterior ca îngrășământ. Se estimează că efectul total al acestei metode de reducere a emisiilor de GES depășește 30%.

Aerarea gunoiului de grajd poate duce la o reducere semnificativă a emisiilor totale de GES, variind între 43% și 99% pentru gunoiul de grajd de vită și, respectiv, de porc [44,45]. Cu toate acestea, emisiile de N_2O pot crește cu până la 144% [44], motiv pentru care, în aplicarea acestei proceduri, este necesar să se implementeze măsuri de conservare a N_2 pentru a obține efectul complet de reducere a GES.

Tratamentul cu aditivi are ca scop modificarea proprietăților chimice ale gunoiului de grajd, cel mai adesea a valorii pH-ului, pentru a preveni sau a reduce emisiile de GES. În acest sens, cel mai adesea se utilizează acidificarea cu acid sulfuric de o anumită concentrație pentru a reduce valoarea pH-ului substratului. Efectele de reducere variază între 67%-87% pentru emisiile de CH_4 la bovine și până la 94%-99% la porcine [43].

Bibliografie

1. Gerber, P. J., Food and Agriculture Organization of the United Nations (Eds.). (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A. G. (2019). Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. Animal Frontiers, 9(1), 69–76.
3. Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M. C., ... & Notenbaert, A. (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(10), 3709-3714.
4. Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T. M., Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management. p.145-163.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems, edited by P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, and J. Malley.
6. Thornton, P. K., Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(46), 19667-19672.
7. USDA Northwest Climate Hub.

https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/international/topic/rotational-grazing-climate-resilience

8. Henderson, B. B., Gerber, P. J., Hilinski, T. E., Falcucci, A., Ojima, D. S., Salvatore, M., Conant, R. T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. Agriculture, Ecosystems & Environment, 207, 91-100.
9. Chiriacò, M. V., Valentini, R. (2021). A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector. Journal of Cleaner Production, 283, 124622.
10. Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., Tricarico, J. M. (2014). Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. J. Dairy Sci. 97:32313261.
11. Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production—a review of technical options for non-CO2 emissions. In: Gerber, P. J., B. Henderson. and H. P.S. Makkar, editors. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. Rome (Italy): FAO.
12. Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., Turner, S.P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. Animal. 11:274–284.
13. Moate, P.J., Williams, S.R.O., Grainger, C., Hannah, M.C., Ponnampalam, E.N., Eckard, R.J. (2011). Influence of cold-pressed canola, brewers grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows,Animal Feed Science and Technology,Animal Feed Science and Technology,Volumes 166–167, P.254-264
14. Grainger, C., Beauchemin, K.A. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? Anim. Feed Sci. Technol., 166–167, 308–320.
15. Arndt, C., Hristov, A.N., Price, W.J., McClelland, S.C., Pelaez, A.M., Cueva, S.F., Oh, J., Dijkstra, J., Bannink, A., Bayat, A.R. (2022). Full adoption of the most effective strategies to mitigate

methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 ◦C target by 2030 but not 2050. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 119, e2111294119.
16. Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., Bujok, J. (2023). Strategies Used to Reduce Methane Emissions from Ruminants: Controversies and Issues. Agriculture, 13(3), Article 3.
17. Kumar, S., Choudhury, P.K., Carro, M.D., Griffith, G.W., Dagar, S.S., Puniya, M., Calabro, S., Ravella, S.R., Dhewa, T., Upadhyay, R.C., et al. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2014, 98, 31–44.
18. Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. Animal, 14, s2–s16.
19. Ostojić Andrić, D., Hristov, S., Stanković, B., Petrović Caro, V., Pajić, M., Nikšić, D., Samolovac, L.,& Marinković, M. (2023). Medicinal And Aromatic Plants In Livestock Farming: A Promising Approach For Boosting Health And Performance. In Proceedings of 14th International Symposium „Modern Trends In Livestock Production“ Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Zemun, Serbia., 460-475.
20. Cheong, K.-L., Zhang, Y., Li, Z., Li, T., Ou, Y., Shen, J., Zhong, S., Tan, K. (2023). Role of Polysaccharides from Marine Seaweed as Feed Additives for Methane Mitigation in Ruminants: A Critical Review. Polymers, 15(15), Article 15.
21. Patra, A.K. (2012) Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: A synthesis of current research and future directions. Environ. Monit. Assess. 184, 1929–1952.
22. Wallace, R.J. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. Proc. Nutr. Soc. 2004, 63, 621–629.
23. Palangi, V., Lackner, M. (2022). Management of Enteric Methane Emissions in Ruminants Using Feed Additives: A Review. Animals, 12(24), Article 24.
24. Antonius, A., Pazla, R., Putri, E. M., Negara, W., Laia, N., Ridla, M., Suharti, S., Jayanegara, A., Asmairicen, S., Marlina, L., Marta, Y. (2023). Effectiveness of herbal plants on rumen fermentation, methane gas emissions, in vitro nutrient digestibility, and population of protozoa. Veterinary world, 16(7), 1477–1488. https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1477-1488
25. Prathap, P., Chauhan, S. S., Leury, B. J., Cottrell, J. J., Dunshea, F. R. (2021). Towards Sustainable Livestock Production: Estimation of Methane Emissions and Dietary Interventions for Mitigation. Sustainability, 13(11), Article 11.
26. Jo, S. U., Lee, S. J., Kim, H. S., Eom, J. S., Choi, Y., Oh, D. S., Bae, D., Lee, S. S. (2022). Effects of oriental medicinal plants on the reduction of methane production mediated by microbial population. Italian Journal of Animal Science, 21(1), 522–531.
27. Rossi, C. A. S., Grossi, S., Dell'Anno, M., Compiani, R., Rossi, L. (2022). Effect of a Blend of Essential Oils, Bioflavonoids and Tannins on In Vitro Methane Production and In Vivo Production Efficiency in Dairy Cows. Animals, 12(6), Article 6.
28. Kara, K., Aktuğ, E., Çağrı, A., Güçlü, B. K., Baytok, E. (2015). Effect of formic acid on in vitro ruminal fermentation and methane emission. Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology.
29. Perna Junior, F., Vásquez, D.C.Z., Gardinal, R., Meyer, P.M., Berndt, A., Friguetto, R.T.S., Demarchi, J.A., Rodrigues, P.H.M. (2020). Short-term use of monensin and tannins as feed additives on digestibility and methanogenesis in cattle. Rev. Bras. Zootec. 49.
30. Guan, H., Wittenberg, K., Ominski, K., Krause, D. (2006). Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. J. Anim. Sci. Technol.
31. Chen, J., Harstad, O. M., McAllister, T., Dörsch, P., & Holo, H. (2020). Propionic acid bacteria enhance ruminal feed degradation and reduce methane production in vitro. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science, 69(3), 169–175.

32. Baca-González, V., Asensio-Calavia, P., González-Acosta, S., Pérez de la Lastra, J. M., Morales de la Nuez, A. (2020). Are Vaccines the Solution for Methane Emissions from Ruminants? A Systematic Review. Vaccines, 8(3), Article 3.
33. Negussie, E., de Haas, Y., Dehareng, F., Dewhurst, R.J., Dijkstra, J., Gengler, N., Morgavi, D.P., Soyeurt, H., van Gastelen, S., Yan, T. (2017) Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. J. Dairy Sci., 100, 2433–2453.
34. Rovere, G., de los Campos, G., Tempelman, R. J., Vazquez, A. I., Miglior, F., Schenkel, F., Cecchinato, A., Bittante, G., Toledo-Alvarado, H., Fleming, A. (2019) A landscape of the heritability of Fourier-transform infrared spectral wavelengths of milk samples by parity and lactation stage in Holstein cows. Journal of Dairy Science, 102(2), 1354–1363.
35. Difford, G. F., Plichta, D. R., Løvendahl, P., Lassen, J., Noel, S. J., Højberg, O., Sahana, G. (2018) Host genetics and the rumen microbiome jointly associate with methane emissions in dairy cows. PLoS genetics, 14(10), e1007580.
36. Rowe, S. J., Hickey, S. M., Jonker, A., Hess, M. K., Janssen, P., Johnson, T. (2019). Selection for divergent methane yield in New Zealand sheep – A ten-year perspective. Proc. Ass. Adv. Ani. Breed. Gene. 23, 306.
37. Lassen, J., Difford, G. F. (2020). Review: Genetic and genomic selection as a methane mitigation strategy in dairy cattle. Animal, 14, s473–s483.
38. Zhang, Y. W., McCarl, B. A., Jones, J.P.H. (2017) An Overview of Mitigation and Adaptation Needs and Strategies for the Livestock Sector. Climate, 5(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/cli5040095
39. Hindrichsen, I.K., Wettstein, H.-R., Machmuller, A., Jorg, B., Kreuzer, M. (2005) Effect of the carbohydrate composition of feed concentrates on methane emissions from dairy cows and their slurry. Environmental Monitoring and Assessment 107, 329–350.
40. Misselbrook, T.H., Powell, J.M., Broderick, G.A., Grabber, J.H. (2005) Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. Journal of Dairy Science 88, 1765–1777.
41. Sommer, S.G., Petersen, S.O., Møller, H.B. (2004) Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. Nutrient Cycling in Agroecosystems 69, 143–154.
42. Webb, J., Sommer, S.G., Kupper, T., Groenestein, K., Hutchings, N.J., Eurich-Menden, B., Rodhe, L., Misselbrook, T.H., Amon, B. (2012) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during the management of solid manures. Sustainable Agriculture Reviews 8, 67–107.
43. Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. Animal, 7, 266–282.
44. Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S. (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture, Ecosystems and Environment 112, 153–162.
45. Martinez, J., Guiziou, F., Peu, P., Gueutier, V. (2003) Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. Biosystems Engineering 85, 347–354.

Strategii de adaptare a animalelor – răspunsuri ale animalelor: fiziologice, biochimice, imunologice, anatomice și comportamentale

Adaptarea la schimbările climatice în sectorul zootehnic cuprinde măsuri care decurg de la animale direct, precum și cele inițiate de oameni. Pentru a face față condițiilor climatice animalele se adaptează în mod natural prin diverse mecanisme, în timp ce adaptarea umană implică punerea în aplicare a unor practici care să ajute animalele să se adapteze la schimbările climatice și să îmbunătățească performanța acestora. În contextul creșterii animalelor, acțiunile de adaptare pot fi clasificate în două grupuri principale: răspunsuri/strategii de adaptare animală și umană [1].

Efectele schimbărilor climatice asupra producției animaliere sunt diverse, iar stresul termic este considerat cea mai mare provocare pentru animalele de fermă [2]. Este important de remarcat faptul că animalele sunt rareori supuse unui singur factor de stres. Pe lângă stresul termic, acestea se pot confrunta în același timp cu probleme cum ar fi alimentația insuficientă, lipsa apei și nutriția slabă. Impactul combinat al mai multor factori de stres poate fi mai mare decât suma efectelor lor individuale [3].

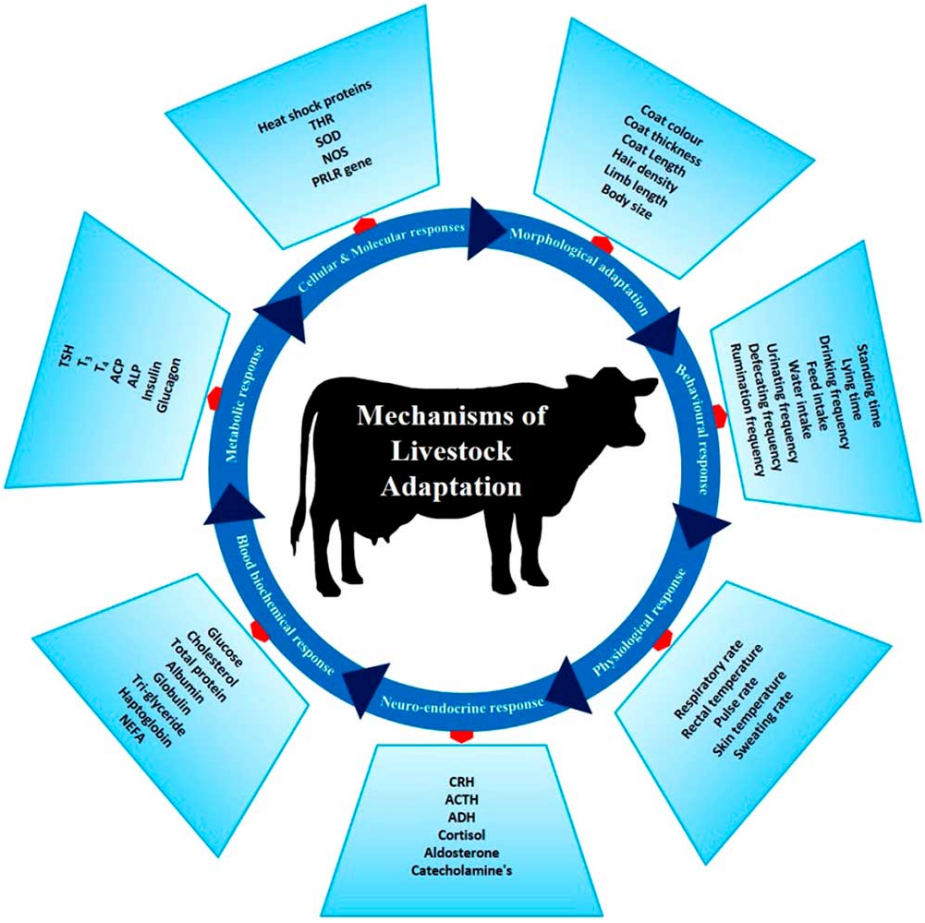


Figura 1. Strategii de adaptare a animalelor de fermă în fața schimbărilor climatice [6].

THR=Receptorul hormonului tiroidian; SOD=superoxid dismutaza; NOS=oxid de azot sintetaza; PRLR=receptorul de prolactină; CRH=hormon de eliberare a corticotropinei; ACTH=hormon adrenocoticotropic; ADH=hormon antidiuretic; NEFA= acizi grași neesterificați; TSH= hormon de stimulare a tiroidei; T_3= triiodotironină; T_4=thiroxină; ACP= fosfataza acidă; ALP= fosfatază alcalină.

Cu toate acestea, animalele au capacități inerente de a rezista la riscurile legate de climă prin procesul de adaptare. În răspunsul animalului la factorii de stres din mediul înconjurător se disting două faze: răspunsul inițial la schimbările de mediu și procesul ulterior declanșat de sistemul endocrin.

Modificările rezultate au ca scop reducerea impactului stresului asupra animalului, permițându-i acestuia să funcționeze mai eficient într-un mediu dificil. Dacă condițiile stresante persistă de-a lungul generațiilor, aceste modificări devin adaptări fixate genetic [4].

Acest capitol își propune să reunească și să sintetizeze informațiile privind semnificația căilor de adaptare a animalelor de fermă și diferitele strategii care le ajută să facă față condițiilor de mediu nefavorabile. În fața schimbărilor climatice, reziliența și adaptabilitatea animalelor de fermă reprezintă o dovadă a complexității evoluției și a supraviețuirii. Pentru a-și recăpăta homeostazia, animalele trebuie să se adapteze la condițiile climatice actuale. În consecință, răspunsurile lor la factori de stres specifici ar putea fi de natură comportamentală, fiziologică, biochimică, imunologică, anatomică sau o combinație a acestor factori (Figura 1). Aceste răspunsuri pot varia în funcție de expunerea lor anterioară la factorii de stres, de durata și gravitatea stresului, de starea lor fiziologică și de constrângerile de mediu [5, 6]. Deși există diferențe semnificative între specii în ceea ce privește toleranța la căldură, există, de asemenea, variații între rase în cadrul unei specii. Animalele poligastrice prezintă, în general, un nivel mai ridicat de toleranță termică în comparație cu cele monogastrice, dar există o suprapunere a intervalelor de mediu pentru specii și rase. Capacitatea de reglare a temperaturii corporale depinde de interacțiuni complexe între factorii anatomici și fiziologici. Caracteristici precum proprietățile pielii și ale blănii, capacitatea de transpirație și de respirație, izolarea țesuturilor, suprafața în raport cu greutatea corporală sau dimensiunea relativă a plămânilor, precum și profilurile endocrine și producția de căldură metabolică sunt cunoscute ca influențând sarcina termică, însă nu sunt încă pe deplin cunoscute mecanismele fiziologice, comportamentale sau genetice implicate [7,8].

Strategii fiziologice

Strategiile fiziologice sunt răspunsurile interne ale animalelor de fermă la schimbările climatice care le permit să facă față condițiilor de mediu în schimbare. Strategiile fiziologice cuprind răspunsurile fiziologice ale animalului, inclusiv modificările funcțiilor corporale, metabolice și endocrine, pentru a menține homeostazia și a asigura supraviețuirea lor într-un climat în schimbare [9]. Animalele au dezvoltat mai multe strategii fiziologice pentru a face față schimbărilor climatice [10]. De exemplu, ele dispun de mecanisme de reglare a temperaturii corporale, cum ar fi gâfâitul și transpirația.

Creșterea ratei respirație prin gâfâit este un mecanism fiziologic cheie prin care animalele stresate de căldură disipă căldura suplimentară prin evaporarea unei cantități mai mari de umiditate în mediul înconjurător [11]. O frecvență crescută a pulsului permite animalelor stresate de căldură să îmbunătățească circulația și să redistribuie fluxul sanguin către piele, ceea ce permite o eliberare mai bună a căldurii către mediul extern [12]. În plus, temperatura rectală crescută la animalele stresate de căldură contribuie la disiparea suplimentară a excesului de căldură necesară pentru a menține homeostazia [13]. Asigurarea unei reglări specifice a funcției renale pentru a menține niveluri adecvate de hidratare (exces de apă) la temperaturi ridicate este, de asemenea, considerată unul dintre răspunsurile fiziologice importante.

Porcii nu au glande sudoripare și, de asemenea, au plămâni relativ mici în raport cu dimensiunea corpului, ceea ce reduce răcirea lor prin gâfâit. Acest lucru îi face deosebit de sensibili la efectul stresului termic, astfel încât mecanismul de eliberare a căldurii prin piele are o mare importanță.

Caprele sunt bine cunoscute pentru capacitatea lor remarcabilă de a-și reduce rata metabolică și de a intra într-o stare de toropeală în timpul perioadelor de căldură sau frig extrem, ceea ce le ajută să își conserve energia și să supraviețuiască în condiții dure [14].

În cadrul răspunsurilor fiziologice la stresul termic, este esențial să se evidențieze răspunsul endocrin. În mod specific, glandele suprarenale și tiroidiene, care fac parte din sistemul endocrin, sunt esențiale pentru a ajuta animalele să se adapteze la stresul termic [15].

Efectul temperaturii ambiante ridicate ca stimul de stres activează axa hipotalamo-hipofizo-adrenocorticală (HPA) și axa medulară simpatico-adrenală (SAM) [15]. Acest lucru duce la eliberarea de hormoni responsabili de adaptarea animalelor la stresul termic: glucocorticoizi, catecolamine, hormonul antidiuretic (ADH), hormoni tiroidieni, mineralocorticoizi, hormonul de creștere (GH) și prolactina (PRL) [16]. Rolul acestor hormoni în asigurarea homeostaziei termice este diferit. De exemplu, producția crescută de cortizol ajută animalele să satisfacă nevoile suplimentare de energie pentru procesele lor de adaptare prin gluconeogeneză la nivelul ficatului [17]. O scădere semnificativă a concentrației de triiodotironină (T3) și tiroxină (T4) a fost observată în plasma și laptele vacilor care alăptează, ceea ce este considerat un alt mecanism de adaptare pentru a reduce sarcina termică suplimentară cauzată de activitatea metabolică crescută [18]. În plus, s-a observat o activitate compromisă a axei hipofizo-tiroidiene la juninci, cu reduceri de aproximativ 40%, 45,4% și 25,9% ale nivelurilor de TSH, T4 și T3 în timpul stresului termic, ceea ce indică capacitatea lor de a produce mai puțină căldură metabolică în încercarea de a se adapta la stresul termic [19].

Strategii biochimice

Animalele de fermă au dezvoltat anumite strategii biochimice pentru a se adapta la schimbările climatice. Aceste strategii implică producerea și reglarea unor compuși biochimici specifici care ajută animalele să facă față provocărilor reprezentate de schimbările climatice. Se pot distinge două strategii principale de adaptare biochimică: răspunsul biochimic din sânge (1) și răspunsul celular și molecular (2):

1) Răspuns biochimic sanguin

Atunci când animalele se confruntă cu stresul termic, au loc modificări biochimice specifice pentru a ajuta la adaptare și la menținerea homeostaziei. Studiile au identificat modificări semnificative ale diferiților parametri biochimici din sânge, inclusiv volumul celular (PCV), hemoglobina (Hb), glucoza, albumina, proteinele totale, colesterolul total și acizii grași neesterificați (NEFA).

-Expunerea prelungită la stresul termic duce la o scădere a nivelului eritrocitelor și al hemoglobinei [20]. Acest lucru se datorează faptului că expunerea la temperaturi ambiante ridicate duce la creșterea consumului de oxigen, ceea ce duce la o presiune parțială ridicată a oxigenului din sânge, care, la rândul său, reduce eritropoieza.

-Diminuarea PCV poate fi atribuită excesului de apă din sistemul circulator, necesară pentru disiparea căldurii prin hemodiluție [21].

-Sub influența stresului termic, nivelul de albumină din plasmă crește, posibil datorită efectului său antioxidant asupra radicalilor liberi produși intensiv în timpul stresului termic [22]. Un exemplu de adaptare biochimică la animale, în special la bovine, este reglarea funcției renale pentru a menține nivelul de hidratare la temperaturi ridicate. Aceste adaptări implică modificări ale compoziției sângelui, cum ar fi o creștere a nivelului de albumină plasmatică pentru a îmbunătăți capacitatea antioxidantă și a proteja împotriva daunelor oxidative cauzate de stresul termic.

-În plus, nivelul de glucoză scade de obicei ca urmare a reducerii gluconeogenezei [23], în timp ce scăderea nivelului de NEFA în plasmă este legat de consumul ridicat al acestora ca sursă de energie în ficat și în țesuturile periferice [24]. Potrivit lui Baumgard și Rhoads [25], reducerea nivelului de NEFA poate fi asociată cu utilizarea glucozei pentru a reduce căldura metabolică în timpul stresului termic.

2) Răspunsul celular și molecular

Răspunsul celular la stresul termic este o parte vitală a capacității animalelor de a tolera temperaturile ridicate. Atunci când sunt expuse la temperaturi ridicate, rețelele de gene din interiorul celulelor și dintre celule activează mecanisme care conduc la adaptarea celulară. Un aspect crucial al acestei adaptări este producția de proteine de șoc termic (HSP), care protejează celulele de daunele induse de căldură și mențin stabilitatea celulară [26]. HSPs sunt esențiale pentru prevenirea denaturării și agregării proteinelor în condiții de stres termic.

Ca răspuns la stresul termic, celulele reduc sinteza ADN-ului, transcrierea și translația, modifică activitatea proteinelor și stimulează producția de HSP [27]. În plus, există o creștere a oxidării glucozei și aminoacizilor, o reducere a metabolismului acizilor grași, activarea sistemului endocrin ca reacție la stres și stimularea sistemului imunitar [4]. Genele legate de sinteza HSP, împreună cu alte gene legate de toleranța la căldură, pot servi ca potențiali indicatori pentru adaptarea bovinelor și a altor animale de fermă la factorii de stres datorați schimbărilor climatice [28]. Identificarea acestor gene, care contribuie la toleranța celulară la căldură, poate fi utilizată în programele de ameliorare prin utilizarea de markeri sau pentru crearea de noi rase de animale tolerante la căldură.

Strategii imunologice

Schimbările climatice duc la un declin în ceea ce privește bunăstarea și sănătatea animalelor prin proliferarea bolilor transmise prin vectori și prin efectul negativ asupra sistemului imunitar al animalelor, provocând imunodepresie și o sensibilitate sporită la infecții [10].

Stresul termic poate perturba echilibrul celulelor imunitare, poate scădea producția de anticorpi și poate afecta funcția organelor imunitare, cum ar fi timusul și splina, ceea ce duce la o sensibilitate crescută la infecții [29].

Diferite tipuri de animale de fermă prezintă răspunsuri variate la stresul termic în ceea ce privește funcția lor imunitară și capacitatea de a combate agenții patogeni. Cu toate acestea, există unele limitări fiziologice în acest sens, condiționate în primul rând de genetică și de specificul mediului de creștere.

Spre deosebire de animalele domestice crescute în climate moderate și care se confruntă ocazional cu șocuri termice, omologii lor sălbatici și rasele crescute în regiuni calde și uscate au dezvoltat în timp anumite caracteristici ale sistemului imunitar, ceea ce le face mai rezistente la condițiile de stres termic. De exemplu, una dintre speciile cele mai afectate negativ de stresul termic este cea a bovinelor, în special a vacilor de lapte [30]. Spre deosebire de bovine, cămila dromader poate fi considerată un model de reactivitate imunitară diferită la stresul termic, ajutând astfel la o mai bună înțelegere a mecanismelor de termotoleranță dezvoltate la animalele adaptate la climatele calde. Studiul lui Hussen [31] a arătat activități sporite de fagocitoză și de producere a speciilor reactive de oxigen (ROS) ale neutrofilelor și monocitelor față de *S. aureus* provocate de căldură, ceea ce contrastează cu efectul inhibitor raportat al stresului termic asupra funcțiilor antimicrobiene ale neutrofilelor de bovine. În cadrul raselor de bovine, bovinele Bos indicus (Zebu), au demonstrat o mai bună adaptare la stresul termic datorită toleranței la căldură și capacității lor de a menține funcția imunitară la temperaturi ridicate [32].

Expresia mai mare a genelor de răspuns imunitar, cum ar fi receptorul Toll-like (TLR) TLR2/4 și interleukinele (IL) IL2/6, a fost, de asemenea, raportată la bovinele Tharparkar stresate de căldură, sugerând funcții imunitare active în aceste rase pentru a contracara efectele stresului termic [33].

Rezultate similare de creștere a expresiei TLR1, TLR4 și TLR5 au fost raportate la caprele indigene Osmanabadi expuse la factori de stres de mediu, cum ar fi stresul termic, stresul nutrițional și stresul termic și nutrițional combinat [34]. Expresia TLR îmbunătățită indică în mod clar sistemul imunitar activ al acestei rase chiar și în condiții de stres termic, stabilind ferm capacitatea lor de adaptare.

Stresul termic la oi poate compromite răspunsul lor imunitar, făcându-le mai sensibile la infecții parazitare și boli respiratorii. Cu toate acestea, unele rase de ovine, cum ar fi rasa africană Damara, au evoluat în climatele calde și prezintă o rezistență mai bună la stresul termic, menținându-și funcția imunitară și rezistența la agenții patogeni [35]. Cercetările efectuate de Astuti și colaboratorii [36] au demonstrat că rasa maghiară Cigaya, ca rasă autohtonă, prezintă o toleranță termică și capacități imunitare superioare în condiții de stres termic, în comparație cu rasa maghiară Merino și cu rasa White Dorper, o rasă tropicală. Analiza realizată de Daramola și Adeloye [37] indică faptul că, de obicei, caprele au în circulație un număr mai mare de limfocite decât de neutrofile, ceea ce sugerează un sistem imunitar bine dezvoltat la această specie și, astfel, este probabil ca animalele adaptate la stresul termic să aibă o sănătate generală mai bună datorită adaptărilor fiziologice și răspunsurilor celulare și moleculare.

FAO [38] oferă un catalog de rase, predominant din țările în curs de dezvoltare, cunoscute pentru rezistența sau toleranța lor la tripanosomie, infestare cu căpușe, boli transmise de căpușe, paraziți interni, dermatofilis sau putregaiul picioarelor, cuprinzând 59 de rase de bovine, 33 de rase de ovine, 6 rase de caprine, 5 rase de cai și 4 rase de bivoli.
Deși în prezent lipsesc dovezi științifice solide, se presupune că rasele tropicale de animale domestice nu numai că prezintă o toleranță mai bună la stresul termic, dar posedă și un sistem imunitar mai adaptat la agenții patogeni tipici regiunilor cu temperaturi ambiante mai ridicate. Acest potențial avantaj poate fi valorificat în cadrul programelor de creștere a animalelor domestice ca o tehnică promițătoare pentru creșterea toleranței la căldură.

Strategii anatomice și morfologice

Un răspuns semnificativ al animalelor de fermă la stresul termic este reprezentat de modificările anatomice care permit animalelor să facă față și să supraviețuiască în condiții de mediu în schimbare [39]. Acest fenomen, adesea trecut cu vederea, pune în lumină plasticitatea și adaptabilitatea speciilor în fața schimbărilor climatice.
Modificările anatomice primare pot implica modificări ale dimensiunii corpului, ale apendicelor, ale culorii și tipului de blană și ale sistemului respirator [40]. În plus, animalele pot dezvolta caracteristici morfologice specifice, cum ar fi glande salivare mai mari, o suprafață extinsă a mucoasei absorbante și capacitatea de a crește semnificativ volumul intestinului anterior atunci când consumă mese bogate în fibre [41].

Culoarea, tipul și densitatea blănii

Structura fizică a blănii servește drept barieră principală între corp și mediul înconjurător. Diferite caracteristici ale părului influențează în mod direct schimbul de căldură cu mediul înconjurător. Structura părului oferă protecție împotriva radiațiilor solare directe facilitând convecția și pierderea de căldură prin evaporare. Caracteristicile cheie includ reflectanța blănii, lungimea părului și densitatea părului pe unitatea de suprafață [8].
În regiunile tropicale, animalele cu blană deschisă la culoare reflectă mai mult de jumătate din radiația solară directă, spre deosebire de animalele de culoare închisă [8]. Adaptările în aceste regiuni implică faptul că au blănuri de păr de culoare deschisă, cum ar fi alb, roșu deschis sau roșu, care ajută la reflectarea radiațiilor solare și la minimizarea absorbției de căldură. Bovinele din mediile calde și aride beneficiază de păr de culoare deschisă ca mecanism de protecție împotriva radiațiilor solare, reflectând mai degrabă decât absorbind radiațiile. Da Silva și colaboratorii [42] au determinat că culoarea blănii afectează comportamentul de termoreglare al vacilor de lapte. Vacile cu mantaua deschisă au prezentat o rezistență mai mare la stresul termic în comparație cu vacile cu manta închisă, ceea ce afectează comportamentul lor de căutare a umbrei și de evitare a căldurii. În plus, bovinele din mediile calde tind să aibă părul neted, ușor, scurt și subțire, precum și mai puțini foliculi de păr pe unitatea de suprafață, facilitând disiparea maximă a căldurii în condiții de stres. Astfel, combinația dintre un strat de păr de culoare deschisă și caracteristicile specifice ale părului permite bovinelor din mediile calde și aride să facă față mai bine temperaturilor ridicate [2].
Oile au dezvoltat blănuri groase de lână care acționează ca izolator pe timp rece și ajută la reglarea temperaturii corpului în caz de căldură extremă [43]. Trăsăturile nedorite ale blănii ovinelor, cum ar fi părul închis la culoare și lung sau blana densă, pot provoca supraîncălzire. În schimb, grosimea mai mică a blănii și blănurile mai puțin dense, cu păr scurt și gros, facilitează disiparea căldurii corporale excesive și contribuie la homeostazie și la o performanță mai bună. Acest lucru indică un avantaj pentru oile cu păr față de cele cu lână. Rasele indigene de ovine din regiunile aride și semiaride posedă caracteristici morfologice cum ar fi lâna de tip covor, care oferă o protecție mai bună împotriva radiațiilor directe. Acest tip de lână permite, de asemenea, o disipare eficientă a căldurii în timpul

evaporării [44]. Unele rase de oi posedă o coadă grasă considerată o adaptare morfologică care permite o mai bună disipare a căldurii [45].

Dimensiunea corpului

Mărimea corpului afectează în mod direct energia necesară pentru viață, creștere și producție, astfel încât modificările trăsăturilor funcționale, cum ar fi mărimea corpului, au repercusiuni semnificative asupra biologiei termice și energetice a animalelor. Prin urmare, în condiții de schimbări climatice, unul dintre răspunsurile de adaptare poate fi reducerea dimensiunii corporale. De exemplu, în climatele mai calde, animalele pot scădea în dimensiune, deoarece corpurile mai mici au un raport mai mare între suprafață și volum, ceea ce permite o mai bună disipare a căldurii [46]. Elayadeth-Meethal și colab. [47] au examinat toleranța adaptivă la stresul termic la rasele de bovine pitice (DCB, Bos taurus indicus) și au comparat răspunsurile lor termoregulatorii cu cele ale raselor de bovine de talie standard (SCB, încrucișate, Bos taurus indicus × Bos taurus taurus). S-a constatat că, deși SCB se poate aclimatiza pe termen scurt la temperaturi mai ridicate, acestea își ating limita de toleranță în condițiile predominant tropicale, în timp ce DCB sunt bine adaptate la climatul mai cald. Concentrația crescută de hemoglobină și dimensiunea celulară redusă a DCB contribuie, de asemenea, la o toleranță termică sporită.

Extremitățile

Dimensiunea și caracteristicile extremităților unui animal, cum ar fi coada, ciocul și picioarele, sunt esențiale pentru reglarea temperaturii corpului prin schimb de căldură. Suprafețele mai mari pentru transpirație sau gâfâială, împreună cu un flux sanguin mai mare către țesuturile periferice, exemplifică evoluția anatomică a animalelor de fermă pentru a-și regla eficient temperatura corpului și a minimiza riscul de supraîncălzire. Acest lucru duce la variații în morfologia animalelor în diferite zone geografice, animalele din regiunile mai calde având extremitățile mai mari în raport cu dimensiunea totală a corpului. Acest fenomen, cunoscut sub numele de „regula lui Allen”, nu a primit suficientă atenție în ceea ce privește răspunsul animalelor la încălzirea climatică [48]. Conform acestei reguli, extremitățile mai mari în raport cu dimensiunea corpului oferă o suprafață mai mare pentru disiparea eficientă a căldurii corporale. Prin urmare, extremitățile mai mari pot fi avantajoase în climatele mai calde, dar pot să nu fie la fel de utile în climatele mai reci.

La păsări, părțile corpului cum ar fi ciocul, conțin numeroase vase de sânge și nu au acoperire de pene, ceea ce le face cruciale pentru eliberarea căldurii. Acest lucru este valabil și pentru picioarele fără pene sau fără blană ale păsărilor și mamiferelor, care ajută la reglarea temperaturii corpului. La mamifere, urechile și cozile joacă, de asemenea, un rol în eliberarea căldurii. Exemple bune în acest sens sunt bovinele Brahman și capra Nubian. Se crede că utilizarea acestor părți ale corpului pentru reglarea temperaturii stă la baza modelelor observate în regula lui Allen, deoarece aceste suprafețe oferă o cale eficientă de disipare a căldurii.

Sistemul respirator

În plus, sistemul respirator al animalelor de fermă poate suferi modificări ca răspuns la schimbările climatice [10]. De exemplu, animalele pot dezvolta capacități pulmonare mai mari sau modele de respirație modificate pentru a-și spori capacitatea de a regla temperatura corpului și de a face față stresului termic.

Adaptări morfologice la diverse specii de animale de fermă

În ceea ce privește schimbările climatice, în special căldura și seceta, caprele demonstrează cele mai mari capacități de adaptare dintre toate animalele domestice. Ele pot disipa căldura prin coarne și se

pot dezvolta cu o vegetație minimă. Caprele cu urechi lungi și căzute și cu pielea lăsată, cum ar fi cele din rasa Boer și Nubian, tind să se descurce mai bine în condiții dificile și aride.

Oile sunt mai puțin tolerante la căldură în comparație cu caprele, chiar dacă lâna le oferă o anumită apărare împotriva temperaturilor ridicate. Oile cu păr în loc de lână suportă și mai bine căldura. De exemplu, rase precum Red Maasai cu coadă grasă și tipul Sahel prosperă în condiții cu apă limitată și vegetație rară. Dorperul sud-african și oaia Karakul din deșerturile Asiei Centrale excelează în condiții de secetă, supraviețuind unor lipsuri severe de apă prin stocarea grăsimii în coadă, aceasta având o funcție similară cu cea a cocoașei unei cămile.
Rasele de bovine continentale, în special rasele de lapte foarte productive, sunt sensibile la impactul temperaturilor ridicate, spre deosebire de omologii lor tropicali din Asia și Africa (Zebu, Brahman, Gir etc.). Prin urmare, pentru a le spori capacitatea de a supraviețui în condiții climatice schimbătoare, este recomandabil să se introducă gene cum ar fi gena slick pentru părul scurt, forma alungită a corpului și alte gene din genotipul bovinelor tropicale.
La păsările de curte, absența penelor de pe gât la puiul Naked Neck oferă un avantaj distinct în ceea ce privește rezistența la stresul termic. În plus, puii cu bărbi și piepteni mai mari se descurcă mai bine în astfel de condiții.
Grăsimea groasă de sub piele, lipsa blănii izolatoare, plămânii mici, incapacitatea de a transpira și de a gâfâi definesc porcii ca fiind specia cea mai sensibilă la stresul termic. Duroc prezintă un nivel moderat de rezistență la stresul termic, dar anumite rase originare din regiunile mai calde din sudul Chinei, cum ar fi porcii Luchuan, porcii Diannan cu urechi mici, porcii Bamaxiang și porcii Wuzhishan, posedă trăsături de rezistență la căldură care ar putea ajuta la găsirea unor soluții genetice de adaptare.



Figura 2: Caracteristici morfologice ale speciilor de animale de fermă rezistente la schimbările climatice.

Analiza adaptărilor anatomice ale animalelor de fermă ca răspuns la schimbările climatice este esențială pentru elaborarea unor strategii eficiente de susținere a producției de animale în fața încălzirii globale. Prin studierea și înțelegerea acestor adaptări, cercetătorii și crescătorii de animale pot lucra la implementarea unor măsuri de îmbunătățire a bunăstării și productivității animalelor de fermă într-un climat în schimbare.

Strategii comportamentale

Pe lângă adaptările fiziologice, biochimice, imunologice și anatomice, animalele de fermă folosesc, de asemenea, strategii comportamentale pentru a face față schimbărilor climatice [10]. Aceste strategii implică modificări ale activităților și mișcărilor lor zilnice pentru a atenua impactul stresului termic și a menține homeostazia termică [43]:

-Căutarea de zone umbrite și mai răcoroase, scăldatul sau stropirea cu apă pentru a reduce expunerea la lumina directă a soarelui și pentru a se răcori [9;10]. De exemplu, s-a observat că, în general, bovinele preferă umbra copacilor în locul structurilor umbrite create de om, datorită răcirii prin evaporare ridicată asigurată de frunzele copacilor [49]. Păsările de curte se răcesc prin întinderea aripilor, în timp ce porcii, fiind cei mai sensibili, se răcesc în noroi și prin așezarea pe suprafețe mai reci.

-Cum crește încărcătura termică, vacile tind să își reducă timpul de odihnă și să crească timpul petrecut în picioare [50]. În acest fel, ele își măresc suprafața corporală, facilitând pierderea de căldură prin evaporare și evitând căldura radiativă și convectivă de la sol [51]. Cu toate acestea, s-a demonstrat că utilizarea aspersoarelor și a ventilatoarelor în ferme reduce în mod eficient încărcătura termică, mărind astfel timpul de odihnă al vacilor.
-Modificări ale regimului alimentar și ale comportamentului de căutare a hranei includ reducerea consumului de hrană pentru a diminua sarcina metabolică a organismului. La vacile care pășunează, la temperaturi diurne extrem de ridicate se observă o trecere la pășunatul de noapte.
-Cum crește sarcina termică, frecvența defecației și a urinării scade, în principal în funcție de disponibilitatea hranei, a apei și a temperaturii mediului [52]. S-a raportat că vacile stresate de căldură prezintă o scădere semnificativă a frecvenței urinei.



Figura 3: Modele comportamentale care duc la pierderea de căldură pentru diferite specii de animale domestice.

- În condiții de mediu severe există, de asemenea, o nevoie crescută de apă. Consumul de apă crește în condiții de stres termic, iar vacile preferă, de obicei, apa cu o temperatură moderată, care nu este nici prea rece, nici prea caldă. Experții recomandă adesea furnizarea de apă rece în condiții de canicula sau de apă sub temperatura corpului pentru a ajuta la menținerea temperaturii corporale.

Capacitatea animalelor de fermă de a manifesta anumite forme de comportament în timpul stresului termic reflectă înțelegerea înnăscută și instinctivă a indicilor de mediu și capacitatea lor de a-și adapta rutina zilnică pentru a supraviețui.

Bibliografie

1. Gaughan, J. B., Sejian, V., Mader, T. L., Dunshea, F. R. (2019). Adaptation strategies: Ruminants. Animal Frontiers, 9(1), 47–53.
2. Henry, B., Eckard, R., Beauchemin, K. A. (2018). Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. Animal, 12, s445–s456.
3. Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022). Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. Atmosphere, 13(1), Article 1.
4. Collier, R.J., Collier, J.L., Rhoads, R.P., Baumgard, L.H. (2008). Invited review: genes involved in the bovine heat stress response. J Dairy Sci, 91, 445-454.
5. Athira, P., Ratnakaran, V., Sejian, V., Sanjo Jose, Shalini Vaswani, M., Bagath, G., Krishnan, V., Beena, P., Devi, I., Varma, G. and Bhatta, R. (2017). Behavioral Responses to Livestock Adaptation to Heat Stress Challenges. Asian Journal of Animal Sciences, 11: 1-13.
6. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. Animal, 12(s2), s431–s444.
7. Hall, S.J.G. (2004) Livestock Biodiversity. Genetic Resources for the Farming of the Future. Blackwell, Oxford, 264 pp.
8. McManus C., Prescott E., Paludo, G.R., Bianchini, E., Louvandini, H., Mariante, A.S. (2008) Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. Livestock Science 120, 256–64.
9. Zhang, Y. W., McCarl, B. A., Jones, J. N. (2017). An Overview of Mitigation and Adaptation Needs and Strategies for the Livestock Sector. Climate, 5(4), 95–95.
10. Bernabucci, U. (2019). Climate change: Impact on livestock and how can we adapt. Animal Frontiers, 9(1), 3–5.
11. Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L., Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. Animal: an international journal of animal bioscience, 6(5), 707–728.
12. Maibam, U., Hooda, O.M., Sharma, P.S., Singh, S.V., Upadhyay, R.C. (2017). Seasonal change in oxidative stress markers in blood plasma of Tharparkar (Bos indicus) and Karan Fries (Bos indicus x Bos taurus) cattle under tropical climate. Int J Curr Microbiol App Sci, 6, 1720-30.
13. El-Tarabany, M.S., El-Tarabany, A.A., Atta, M.A. (2017). Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. Int J Biometeorol, 61, 61-68.
14. Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., Ma, Y. (2019). Adaptation Mechanisms of Small Ruminants to Environmental Heat Stress. Animals, 9(3), Article 3.
15. Romanello, N., Junior, J.D., Junior, W.B., Brandão, F.Z., Marcondes, C.R., Pezzopane, J.R. (2018). Thermoregulatory responses and reproductive traits in composite beef bulls raised in a tropical climate. Int J Biometeorol, 7, 1-2.
16. Sheba, M.J., Kumar, M., Balasubramanian, P., Dharmaraj, M., Mohankumar, P.S. (2012). Neuroendocrine regulation of adaptive mechanisms in livestock. In: Sejian V, Naqvi SMK, Ezeji T, Lakritz J, Lal R. (Eds.), Environmental stress and amelioration in livestock production. Springer-Verlag Publisher, New York, 263-298.
17. Chen, Y., Arsenault, R., Napper, S., Griebel, P. (2015). Models and Methods to Investigate Acute Stress Responses in Cattle. Animals, 5, 1268-1295.
18. Zhang, L., Ying, S.J., An, W.J., Lian, H., Zhou, G.B., Han, Z.Y. (2014). Effects of dietary betaine supplementation subjected to heat stress on milk performances and physiology indices in dairy cow. Genetics and Molecular Research, 13, 7577-7586.
19. Kahl, S., Elsasser, T.H., Rhoads, R.P., Collier, R.J., Baumgard, L.H. (2015). Environmental heat stress modulates thyroid status and its response to repeated endotoxin challenge in steers. Domest Anim Endocrinol, 52, 43-50.
20. Marai, I.F., Habeeb, A.A. (2010). Buffaloes reproductive and productive traits as affected by heat stress. Trop Subtrop Agroecosyst, 12, 2.

21. Garkal, R.A., Kekan, P.M., Kharde, S.D., Munde, V.K., Narladkar, B.W., Vaidya, M.S. (2016). Effect of different housing systems on haematological parameters of buffaloes. Buffalo Bull, 35, 191-198.
22. Rasooli, A., Nouri, M., Khadjeh, G.H., Rasekh, A. (2004). The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. Iranian J Vet Res, 5, 1383-2004.
23. Alberghina, D., Piccione, G., Casella, S., Panzera, M., Morgante, M. (2013). The effect of the season on some blood metabolites and haptoglobin in dairy cows during the postpartum period. Arch Anim Breed, 56, 354-359.
24. Skibiel, A.L., Zachut, M., do Amaral, B.C., Levin, Y., Dahl, G.E. (2018). Liver proteomic analysis of postpartum Holstein cows exposed to heat stress or cooling conditions during the dry period. J Dairy Sci, 101, 705-716.
25. Baumgard, L.H., Rhoads, R.P. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. Ann RevAnim Biosci, 1, 311-337.
26. Basirico, L., Morera, P., Primi, V., Lacetera, N., Nardone, A., Bernabucci, U. (2011). Cellular thermotolerance is associated with heat shock protein 70.1 genetic polymorphisms in Holstein lactating cows. Cell Stress Chaperones, 16, 441-448.
27. Saxena, V.K., Krishnaswamy, N. Molecular mechanisms of livestock adaptation. In: Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production. Sejian V, Naqvi SMK, Ezeji T, Lakritz J, Lal R (eds). Springer-Verlag, Germany; 2012. p. 299-315.
28. Kumar, J., Madan, A.K., Kumar, M., Sirohi, R., Yadav, B., Reddy, A.V. (2017). Impact of season on antioxidants, nutritional metabolic status, cortisol and heat shock proteins in Hariana and Sahiwal cattle. Biol Rhythm Res, 1-10.
29. Caroprese, M., Bradford, B. J., Rhoads, R. P. (2021). Editorial: Impact of Climate Change on Immune Responses in Agricultural Animals. Frontiers in Veterinary Science, 8, 732203.
30. Dahl, G. E., Tao, S., Laporta, J. (2020). Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. Frontiers in Veterinary Science, 7.
31. Hussen, J. (2021). Changes in Cell Vitality, Phenotype, and Function of Dromedary Camel Leukocytes After Whole Blood Exposure to Heat Stress in vitro. Frontiers in Veterinary Science, 8.
32. Hansen, P. J. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. Animal reproduction science, 82, 349-360.
33. Bharati, J., Dangi, S.S., Mishra, S.R., Chouhan, V.S., Verma, V., Shankar, O., Bharti, M.K., Paul, A., Mahato, D.K., Rajesh, G., Singh, G. (2017) Expression analysis of toll like receptors and interleukins in Tharparkar cattle during acclimation to heat stress exposure. Journal of Thermal Biology 65, 48–56.
34. Sophia, I., Sejian, V., Bagath, M., Bhatta, R. (2016) Quantitative expression of hepatic Toll-Like Receptor 1–10 mRNA in Osmanabadi goats during different climatic stresses. Small Ruminant Research 141, 11–16.
35. Almeida, A. M. (2011). The Damara in the context of Southern Africa fat-tailed sheep breeds. Tropical Animal Health and Production, 43(7), 1427–1441.
36. Astuti, P. K., Bagi, Z., Bodrogi, L., Pintér, T., Skoda, G., Fajardo, R., Kusza, S. (2023). Hungarian indigenous Tsigai, a promising breed for excellent heat tolerance and immunity. Saudi Journal of Biological Sciences, 30(9), 10374737
37. Daramola, J.O., Adeloye, A.A. (2009): Physiological adaptation to the humid tropics with special reference to the West African Dwarf (WAD) goat. Tropical Animal Health and Production 41, 7, 1005–1016.
38. FAO (2007) In: The State of the WorldÕs Animal Genetic Resources for Food and Agriculture (Ed. by B. Rischkowsky & D. Pilling). FAO, Rome, 511 pp.
39. Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., Gaughan, J. B. (2019). The Impact of Heat Load on Cattle.
40. Carabaño, M. J., Ramón, M., Menéndez-Buxadera, A., Molina, A., Díaz, C. (2019). Selecting for heat tolerance. Animals and Frontiers, 9(1), 62–68.

41. Silanikove, N., Koluman, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. Small Ruminant Research, 123, 27-34.
42. da Silva, W. C., da Silva, É. B. R., Dos Santos, M. R. P., Camargo Junior, R. N. C., Barbosa, A. V. C., da Silva, J. A. R., Vinhote, J. A., de Sousa, E. D. V., Lourenço Júnior, J. B. (2022). Behavior and thermal comfort of light and dark coat dairy cows in the Eastern Amazon. Frontiers in veterinary science, 9, 1006093.
43. Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T. M., Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management. p.145-163.
44. Mahgoub, O., Kadim, I.T., Al-Dhahab, A., Bello, R.B., Al-Amri, I.S., Ali, A.A.A., Khalaf, S. (2010) An assessment of Omani native sheep fiber production and quality characteristics. Journal of Agricultural and Marine Sciences 15, 9–14.
45. Khalifa, H. H. (2003). Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In N. Lacetera, U. Bernabucci, H. H. Khalifa, B. Ronchi, A. Nordone (Eds.), Interactions between climate and animal production. Wageningen Academic Publishers.
46. Martin, J. M., Mead, J. I., Barboza, P. S. (2018). Bison body size and climate change. Ecology and Evolution, 8(9), 4564–4574.
47. Elayadeth-Meethal, M., Thazhathu Veettil, A., Maloney, S. K., Hawkins, N., Misselbrook, T. H., Sejian, V., Rivero, M. J., Lee, M. R. F. (2018). Size does matter: Parallel evolution of adaptive thermal tolerance and body size facilitates adaptation to climate change in domestic cattle. Ecology and Evolution, 8(21), 10608–10620.
48. Ryding, S., Klaassen, M., Tattersall, G. J., Gardner, J. L., Symonds, M. R. E. (2021). Shape-shifting: Changing animal morphologies as a response to climatic warming. Trends in Ecology and Evolution, 36(11), 1036–1048.
49. Veissier, I., Palme, R., Moons, C. P., Ampe, B., Sonck, B., Andanson, S., Tuyttens, F. A. (2018). Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. International Journal of Biometeorology, 62, 585-595.
50. Schutz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., Tucker, C. B. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. Journal of Dairy Science, 93, 125-133.
51. Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Chandran, P. C., Bharti, P. K. (2016). Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. Journal of Applied Animal Research, 44, 347-354.
52. Ratnakaran, A. P., Sejian, V., Sanjo Jose, V., Vaswani, S., Bagath, M. (2017). Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. Asian Journal of Animal Science, 11, 1-3.

Strategii de adaptare umană: Genetica animală, modificarea fizică, gestionarea hranei pentru animale, sistemul de gestionare a animalelor

IPCC definește adaptarea ca fiind acțiunile întreprinse pentru a reduce vulnerabilitatea sistemelor naturale și umane la impactul schimbărilor climatice prezente sau anticipate. Strategiile de adaptare ce țin de oameni cuprind reproducerea, modificări ale sistemelor de producție și de gestionare, precum și schimbări instituționale și politice care vor fi analizate în capitolul următor. Figura 1 oferă o prezentare succintă a strategiilor de adaptare a creșterii animalelor, urmată de o discuție detaliată. Pe scurt, adaptarea umană presupune punerea în aplicare a unor practici care ajută animalele să se adapteze la schimbările climatice și să le îmbunătățească performanța.

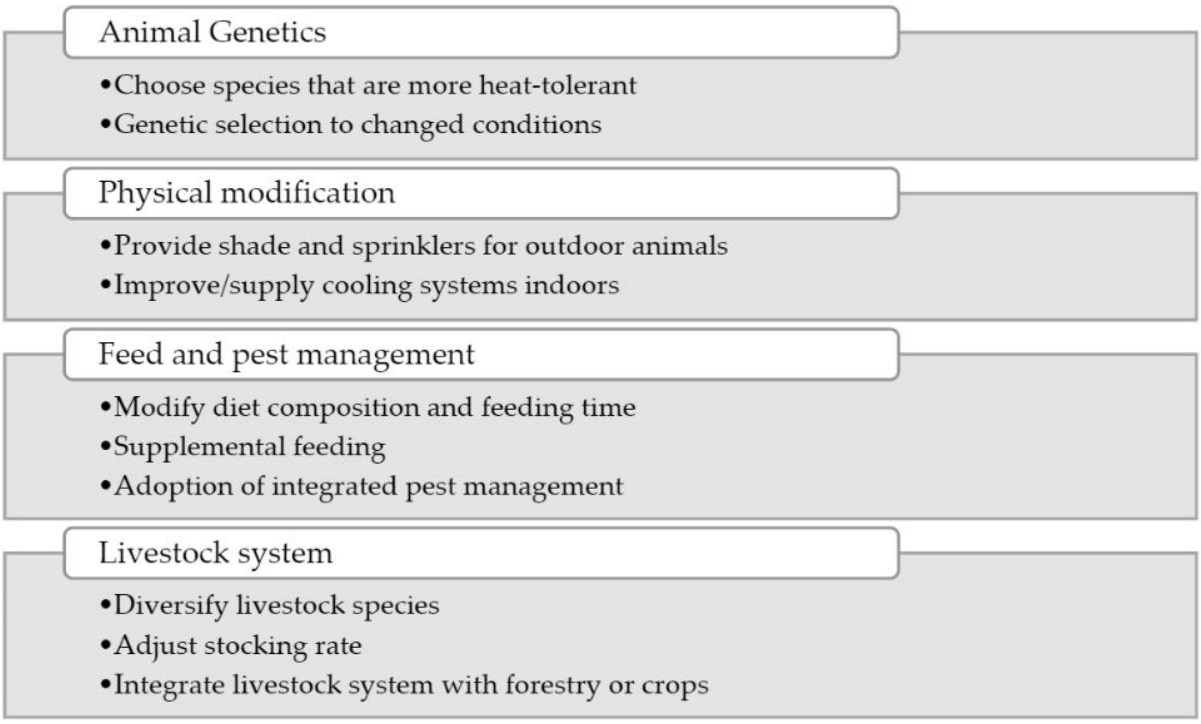


Figura 1: Rezumat al strategiilor de adaptare ce țin de om [1].

Genetica animală

Aplicarea metodei de creștere selectivă la animalele de fermă a dus la îmbunătățirea performanțelor de producție ale acestora de-a lungul anilor, contribuind la o creștere generală a randamentului produselor. Cu toate acestea, această selecție unilaterală a favorizat genotipurile foarte productive cu cerințe energetice ridicate și cu o producție de căldură metabolică sporită. Prin urmare, în condițiile schimbărilor climatice, există riscul ca astfel de genotipuri să fie mai sensibile la stresul termic din cauza încărcăturii lor metabolice [2]. Având în vedere că proiecțiile privind schimbările climatice indică condiții mai calde și temperaturi extreme mai frecvente, una dintre măsurile de adaptare a omului implică manipularea materialului genetic al animalelor de fermă. S-a observat că anumite rase și tipuri de animale de fermă prezintă o rezistență mai mare la stresul termic, ceea ce este strâns legat de capacitățile lor de adaptare, așa cum s-a discutat în detaliu în capitolul anterior privind adaptările animalelor. Rasele de animale de fermă originare din regiunile tropicale au evoluat pentru a prospera în climatele mai calde și pentru a face față lipsei de apă, ceea ce le conferă un avantaj evolutiv în contextul schimbărilor climatice. Adaptări precum părul ușor, scurt și alunecos, membrele mai mari, suprafața crescută a pielii și a plămânilor, dimensiunea mai mică a corpului, printre altele, joacă un rol crucial în capacitatea lor de adaptare. În plus, la fel ca în cazul raselor adaptate la nivel local, trăsăturile

fiziologice și imunologice specifice sporesc rezistența acestor rase tropicale în condiții de creștere mai puțin ideale.

Selecția convențională, selecția asistată de markeri și selecția genomică

Deoarece expresia fenotipică a trăsăturilor este determinată în mare măsură de genotip, diverse forme de manipulare genetică sunt considerate ca fiind una dintre posibilitățile care intră în sfera de aplicare a măsurilor de adaptare umană. Prin urmare, eritabilitatea și variația genetică aditivă a trăsăturilor importante pentru rezistența termică sunt parametrii de care depinde succesul implementării unor astfel de metode. Cu toate acestea, markerii fiziologici ai stresului termic, cum ar fi rata respirației (RR), temperatura rectală (RT) și scorul de salivare (DS) prezintă o eritabilitate scăzută [3,4,5] și sunt controlați de numeroși loci ai trăsăturilor cantitative (QTL), fiecare cu efecte minore. În consecință, potențialul pentru progrese genetice semnificative prin metode convenționale de selecție este limitat. O altă provocare, de exemplu în cazul vacilor de lapte, este identificarea animalelor tolerante la căldură din cauza naturii complexe a stresului termic și a corelațiilor negative dintre toleranța la căldură și trăsăturile de productivitate. Acest lucru subliniază necesitatea de a identifica cu precizie variațiile genomice legate de trăsăturile de toleranță la căldură, adăugând astfel o altă dimensiune la progresul selecției genomice (GS) pentru animalele de lapte rezistente la căldură [6]. Folosirea studiilor de asociere la nivelul întregului genom (GWAS) pentru a identifica genele care guvernează trăsăturile de adaptare la climă, cum ar fi termoreglarea eficientă, utilizarea hranei și imunitatea, ar putea accelera selecția animalelor care sunt mai rezistente la provocările climatice [7]. Până în prezent, în cazul bovinelor de lapte s-au înregistrat progrese în identificarea genelor candidate, cum ar fi HSF1, SPAG17, DNAJC8, HSPA9 și DNAJC18, asociate cu toleranța la căldură și cu trăsăturile de producție a laptelui, ceea ce a facilitat selecția asistată de markeri, selecția genomică și inițiativele de editare a genelor [8]. Pe lângă selecția asistată de markeri și selecția genomică menționate mai sus, alte opțiuni, precum încrucișarea și editarea genelor, oferă căi de manipulare a geneticii animale pentru a reduce impactul schimbărilor climatice asupra animalelor.

Adaptarea raselor de animale de fermă tropicale la zonele de vulnerabilitate climatică ar putea fi o strategie viabilă pentru a face față schimbărilor climatice. Cu toate acestea, există anumiți factori care trebuie luați în considerare, cum ar fi capacitatea animalelor de a se dezvolta în condiții de mediu diferite, rezistența lor la bolile locale și adaptabilitatea lor generală la noul climat. În plus, aceste rase se caracterizează, în general, printr-o productivitate mai scăzută, ceea ce nu este în concordanță cu obiectivele moderne de creștere și cu nevoile alimentare.

Încrucișarea raselor tropicale și locale adoptate și a raselor de animale de fermă cu randament ridicat apare ca o alternativă superioară. De exemplu, dezvoltarea de încrucișări între Bos taurus și Zebu (bovine Bos taurus indicus) s-a dovedit a fi eficientă pentru îmbunătățirea performanțelor, păstrând în același timp rezistența la factori de mediului [9]. Aceste animale încrucișate prezintă o mai bună adaptabilitate la temperaturi ridicate, umiditate și rezistență la paraziți, în special la căpușele *Boophilus microplus*, care crește proporțional cu ascendența Bos taurus indicus din încrucișare [10]. Reproducerea de animale încrucișate între rasele tropicale și cele cu randament ridicat produce un dublu impact în lupta împotriva schimbărilor climatice. În primul rând, acești hibrizi prezintă o rezistență sporită la căldură, la anumite boli și la penuria de apă. În același timp, ei ating o productivitate sporită, reducând astfel amprenta globală de carbon [11].

Pornind de la caracteristicile morfologice ale animalelor care permit o mai bună adaptare a celor din regiunile tropicale, studiile genetice au dezvăluit genele și mecanismele de moștenire care definesc aceste trăsături specifice. Unele rase de bovine au părul foarte scurt și o densitate redusă a foliculilor, ceea ce dă un fenotip numit „SLICK”. Conform unor descoperiri, efectul SLICK se realizează cel mai probabil prin intensificarea transpirației, mai degrabă decât prin reducerea lungimii și densității părului

[12]. Varianta SLICK a fost introdusă acum în alte rase, inclusiv în rasa de lapte Holstein, foarte productivă, producând animale cu toleranță crescută la căldură [13].

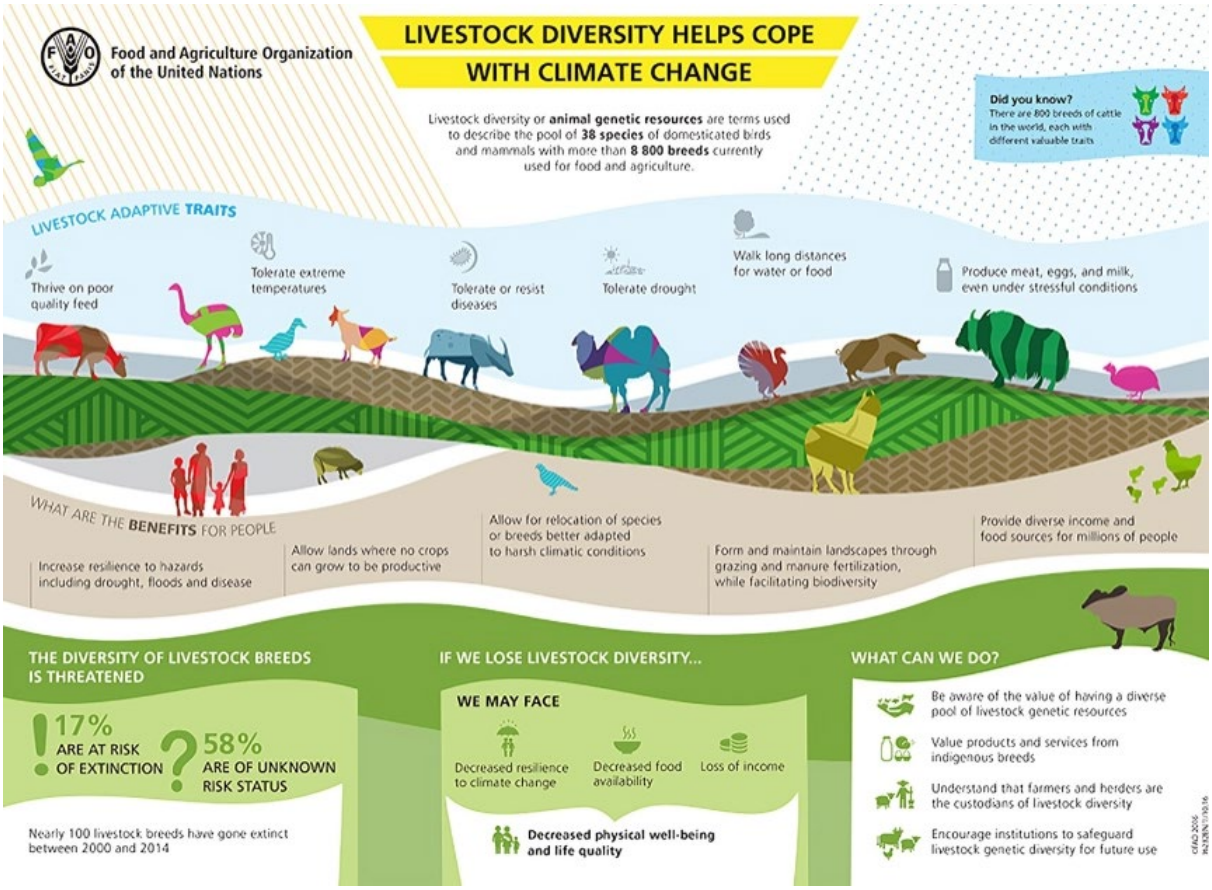


Figura 2. O imagine de ansamblu a rolurilor și beneficiilor AnGR-urilor în ceea ce privește strategia de adaptare la schimbările climatice [14].

În plus față de rasele tropicale, rasele adaptate la nivel local, adesea definite ca resurse genetice (AnGR), au cu siguranță importanța lor în cadrul măsurilor de adaptare la schimbările climatice, după cum se arată în Figura 2. Evoluția lor a avut loc în condiții de adaptare la condiții climatice extreme și la diferite tipuri de agenți patogeni și paraziți care le însoțesc, în urma cărora au dobândit caracteristici specifice. Prin urmare, aceste rase servesc drept active neprețuite și, dacă sunt cercetate temeinic, pot fi valorificate pentru a dezvolta rase bine adaptate la condițiile schimbătoare determinate de schimbările climatice [15]. Multe specii și rase adaptate la nivel local sunt concentrate în principal în regiunile aride. Cămilele, de exemplu, se găsesc cu precădere în zonele aride, prezentând variații în ceea ce privește adaptarea la altitudine și climă. Pe de altă parte, iacii sunt specializați pentru a prospera în condiții extrem de dificile, la altitudini mari, în toate ținuturile aride din Asia. Potrivit FAO [16], peste 70% din rasele de măgari, aproximativ 50% din rasele de oi și capre și 30% din rasele de bovine și cabaline sunt adaptate la regiunile aride. Cu toate acestea, majoritatea raselor indigene nu dispun de o caracterizare completă, iar adaptările lor includ nu numai rezistența la căldură, ci și capacitatea de a prospera, de a se dezvolta și de a se reproduce în fața deficiențelor nutriționale sezoniere, precum și a provocărilor reprezentate de paraziți și boli.

În prezent, din multitudinea de specii de mamifere și păsări, doar 40 sunt domesticite, jucând un rol crucial în producția de carne, lapte și ouă. O parte semnificativă a acestei producții este asigurată de specii-cheie precum bovinele, bivolii, caprele și oile. Din nefericire, 26 % dintre rasele de animale sunt acum în pericol, iar 6 % dintre acestea au dispărut deja. Strategiile care se concentrează pe resursele genetice animale pot modela populațiile prin reproducerea selectivă a unor rase mai rezistente, prin încrucișări pentru o rezistență mai mare la temperaturi sau la boli sau prin tranziția la specii alternative atunci când aceste abordări nu mai sunt viabile. Diversitatea din cadrul resurselor genetice animale

oferă capacitatea de a se adapta la schimbările climatice, la bolile emergente, la resursele limitate de hrană și apă și la evoluția cererii de pe piață.

Utilizarea biotehnologiei genetice pentru a introduce gene de termorezistență - editarea genetică - în creșterea animalelor este o abordare promițătoare în cadrul strategiilor de adaptare la schimbările climatice. Cercetătorii au identificat mai multe gene asociate cu termorezistența la animale. Printre aceste gene se numără proteinele de șoc termic, factorii de transcripție a șocului termic, receptorul hormonului tiroidian, proteina inositolului mitocondrial, izocitrat dehidrogenaza și butirofilina fosfofructokinaza [17]. Studiile au arătat că aceste gene joacă roluri critice în reglarea diferitelor procese fiziologice care contribuie la termotoleranță. De exemplu, proteina 70 a șocului termic este o proteină foarte bine conservată, indusă de stres, care ajută la protejarea celulelor de daune și la menținerea integrității celulare. Pe lângă proteinele de șoc termic, s-a constatat că și alte gene implicate în reglarea răspunsului imunitar și a opririi ciclului celular sunt, de asemenea, produse intensiv în condiții de stres termic la animale. Prin utilizarea tehnicilor de editare a genelor, cum ar fi CRISPR-Cas9, oamenii de știință pot introduce în genomul animalelor de fermă gene cu potențial crescut de termorezistență, sporind astfel capacitatea acestora de a rezista și de a se adapta la stresul termic.

Modificări fizice

Modificările de mediu reprezintă o abordare viabilă pentru atenuarea stresului termic la animale și pot fi clasificate în linii mari în modificări în exterior și în interior.

1.În aer liber

Pentru animalele adăpostite în aer liber, în pajiști sau pășuni, modificările fizice eficiente implică furnizarea de adăposturi care protejează împotriva radiațiilor solare, facilitând în același timp răcirea pe timp de caniculă [18]. Animalele care pășunează beneficiază de surse de umbră naturală, cum ar fi bolta largă și densă a copacilor, care favorizează creșterea evaporării căldurii și a umidității din corpul lor [19]. Alternativ, diverse adăposturi construite oferă soluții viabile, Figura 3 prezentând un design modern bazat pe energie solară care oferă economii semnificative de energie [20]. În plus, implementarea sistemelor de stropire și de ceață poate reduce și mai mult temperaturile corpului, după cum se arată în Figura 4 [21]. Sistemele combinate demonstrează o eficacitate superioară, generând un efect sinergic, în special în condiții aride [22]. Astfel, s-a demonstrat că integrarea sistemelor de aspersiune cu adăposturile acoperite îmbunătățește creșterea zilnică în greutate a porcilor în comparație cu utilizarea exclusivă a aspersoarelor.



Figura 3. Exemplul unui sistem inovativ de umbrire solară [20].



Figura 4. Exemplu de sistem de aspersiune pentru păşunatul vacilor [21].

2. La interior

Datorită naturii specifice a sistemelor de creştere în spaţii închise, animalele adăpostite în interior sunt, de obicei, mai sensibile la condiţiile microclimatice. Monitorizarea continuă a temperaturii, a umidităţii, a gazelor şi a altor parametri din interiorul grajdurilor este esenţială, în special în sistemele intensive cu o concentraţie mare de animale. În vremurile moderne, progresele în tehnologia agriculturii de precizie oferă capacitatea de a adapta sistemele în mod corespunzător la schimbările detectate, asigurând o furnizare constantă a microclimatului dezirabil pe parcursul întregului ciclu de producţie. Porcinele, în special, sunt foarte sensibile la stresul termic, necesitând sisteme de răcire şi ventilaţie foarte eficiente [23]. Un exemplu ilustrativ al unui astfel de sistem este prezentat în Figura 5.

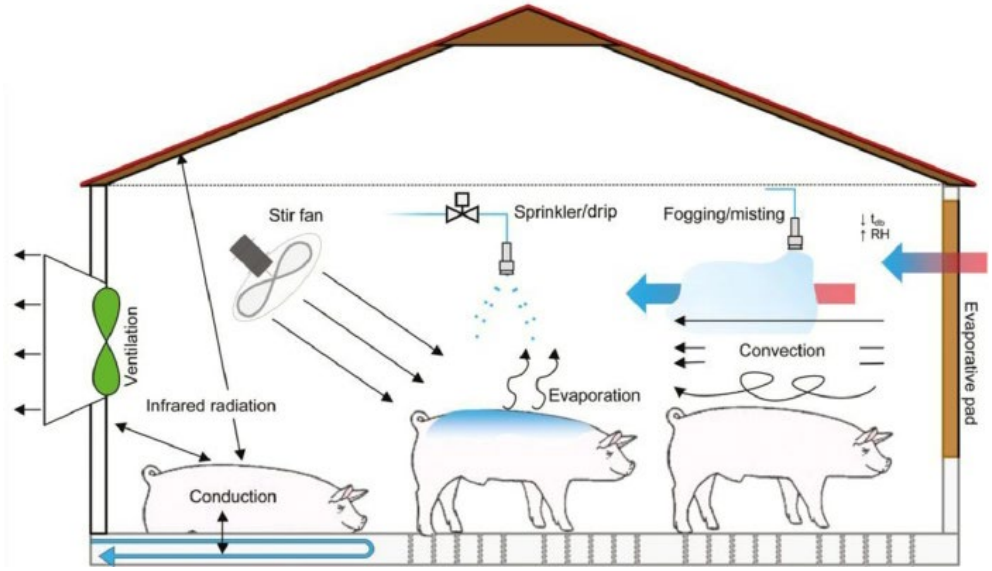


Figura 5. Exemplu de sisteme de ventilaţie şi răcire pentru fermele de porcine de dimensiuni mari [23].

În general, modificările fizice din interiorul clădirilor includ instalarea sau îmbunătăţirea sistemelor de ventilaţie, utilizarea de materiale de construcţie care reduc căldura, cum ar fi izolaţia, şi optimizarea orientării grajdurilor. De asemenea, pot fi puse în aplicare măsuri suplimentare, cum ar fi convecţia forţată a aerului, sistemele de aburire, ceaţă, pulverizare şi răcire a substratului [24]. Diferite sisteme

de climatizare și de răcire a substratului au demonstrat performanțe superioare în atenuarea stresului termic [24]. Cu toate acestea, este important să se ia în considerare costurile semnificative de investiție și de funcționare, precum și consumul de energie asociat cu funcționarea acestora. Dezvoltarea și punerea în aplicare a tehnologiilor ecologice vor contribui, fără îndoială, la adoptarea lor pe scară mai largă și la creșterea eficienței ecologice [20].

Managementul furajelor

Utilizarea strategiilor de hrănire ajută la menținerea hidratării, a echilibrului electrolitic și a statusului antioxidant, reducând astfel stresul fiziologic asociat cu stresul termic, oferind în același timp un mijloc de îmbunătățire a performanțelor animalelor. Aceste strategii cuprind ajustări ale compoziției dietei, modificări ale momentului și frecvenței hrănirii și practici eficiente de gestionare a apei [18].

Gestionarea eficientă a apei: Punerea în aplicare a unor strategii eficiente de gestionare a apei, cum ar fi asigurarea unui acces adecvat la apă potabilă curată și optimizarea eficienței utilizării apei în producția de furaje, poate contribui la atenuarea impactului penuriei de apă și al secetei asupra creșterii animalelor. Asigurarea apei curate și abundente în apropierea zonelor de hrănire este esențială, în special în climatele calde, unde apa poate fi caldă. Furnizarea de apă răcită s-a dovedit a fi promițătoare pentru îmbunătățirea performanțelor animalelor prin reducerea temperaturii corporale, în special în cazul scroafelor care alăptează, prin creșterea consumului de hrană și a producției de lapte [25,26]. Combinarea autoalimentării cu opțiunea ca scroafele să își umezească hrana a îmbunătățit, de asemenea, consumul de hrană la scroafele care alăptează în timpul verii, comparabil cu sistemele de hrănire manuală cu hrană uscată [26].

Suplimentarea cu electroliți este o strategie nutrițională esențială pentru atenuarea stresului termic la animale din cauza pierderii de electroliți prin transpirație și/sau gâfâială. În plus, Renaudeau și colab. [18], subliniază importanța furnizării de antioxidanți suplimentari, cum ar fi vitaminele E și C, pentru a combate stresul oxidativ indus de stresul termic.

Încorporarea grăsimilor în alimentație poate atenua în mod eficient stresul termic, poate îmbunătăți aportul de energie și poate sprijini performanța generală în timpul temperaturilor ridicate. Grăsimea servește ca sursă de energie densă, esențială atunci când animalele reduc aportul de hrană în timpul stresului termic; aceasta sporește densitatea energetică, ajutând la satisfacerea nevoilor nutriționale cu volume mai mici. În plus, metabolismul grăsimilor generează mai puțină căldură decât carbohidrații sau proteinele, ceea ce poate minimiza riscurile de sănătate legate de căldură și menține echilibrul termic. Mai mult, suplimentarea cu grăsimi îmbunătățește palatabilitatea hranei pentru păsări de curte, asigurând un aport adecvat de nutrienți, promovând în același timp creșterea și calitatea carcasei la porci în condiții de stres termic, susținând astfel productivitatea și rentabilitatea în sistemele de producție afectate [27,28].

Suplimentarea cu aminoacizi: Suplimentarea dietei porcinelor cu aminoacizi specifici, cum ar fi lizina și metionina, ajută la menținerea sintezei proteice și a masei musculare în timpul stresului termic, susținând performanța creșterii și calitatea carcasei la porcii crescuți în climatele calde [18].

Aditivi pentru stresul termic: Unii aditivi furajeri, cum ar fi modificatorii de stres termic sau compușii de reducere a căldurii, sunt special concepuți pentru a atenua efectele fiziologice ale stresului termic. Acești aditivi pot include substanțe care sporesc disiparea căldurii, îmbunătățesc retenția de apă sau reglează răspunsurile hormonale la stresul termic, îmbunătățind astfel confortul și performanțele porcilor în timpul perioadelor de temperaturi ridicate. S-a demonstrat că probioticele, prebioticele și compușii fitogeni îmbunătățesc sănătatea intestinelor și absorbția nutrienților, sporind rezistența la stresul termic. Suplimentele alimentare, cum ar fi niacina, cultura fungică și acidul linoleic conjugat, s-au dovedit a atenua impactul temperaturilor ridicate asupra performanțelor atât la rumegătoare, cât și la păsări de curte [18].

Ajustarea regimului de hrănire (timp și/sau frecvență) poate ajuta animalele să facă față stresului termic. Pe timp de caniculă, animalele pot fi hrănite dimineața devreme sau seara târziu, când temperaturile sunt mai scăzute [29,30]. Hrănirea în aceste momente reduce stresul termic și le permite să își consume hrana mai confortabil. Oferirea unor mese mai mici și mai frecvente pe parcursul zilei ajută la reglarea digestiei și a absorbției nutrienților, reducând căldura metabolică generată în timpul digestiei.

Pe lângă cele menționate mai sus, există și alte măsuri de adaptare privind gestionarea alimentației. Utilizarea unor surse alternative de hrană, cum ar fi subprodusele agroindustriale și hrana pe bază de insecte, contribuie la atenuarea impactului fluctuațiilor de hrană induse de schimbările climatice, oferind suplimente valoroase rezistente la variabilitatea climatică. În același timp, optimizarea eficienței furajelor prin tehnici de reproducere selectivă și de hrănire de precizie minimizează intrările de resurse, reducând costurile de producție și sporind în același timp productivitatea. În plus, integrarea culturilor furajere rezistente la schimbările climatice, cum ar fi ierburile și leguminoasele tolerante la secetă, susține producția de animale în regiunile cu deficit de apă, necesitând mai puține intrări și sporind rezistența la variabilitatea climatică.

Sistemul de gestionare a creșterii animalelor

Adaptările în materie de gestionare a animalelor cuprind o serie de strategii, printre care:

1) Diversificarea speciilor de animale oferă o abordare cu multiple fațete pentru adaptarea la schimbările climatice în creșterea animalelor. Prin menținerea unei combinații diverse de specii și rase, fermierii pot spori rezistența, pot îmbunătăți utilizarea resurselor și pot spori adaptabilitatea la condițiile de mediu în schimbare, favorizând astfel durabilitatea operațiunilor de creștere a animalelor [31]. În plus, crescătorii de animale tradiționale o utilizează în mod obișnuit pentru a menține o diversitate ridicată în cadrul nișelor din cadrul fermei și pentru a atenua provocările climatice și economice [15;16]. Prin urmare, aplicarea lor ar putea juca un rol crucial în adaptarea la schimbările climatice. Cercetările efectuate de Seo și Mendelsohn [32] sugerează că fermele mici din țările în curs de dezvoltare prezintă o rezistență mai mare la schimbările climatice datorită portofoliilor lor de specii diverse, a flexibilității de a trece de la o specie la alta și a dependenței de capre și oi. În schimb, exploatațiile comerciale de lapte și de carne de vită se confruntă cu o vulnerabilitate sporită, deoarece natura lor specializată face ca tranziția la alte specii să fie mai dificilă. Diferite modele la nivelul speciilor de animale care iau în considerare impactul direct al schimbărilor climatice, alături de modificările condițiilor agroecologice și ale sistemelor de producție, indică o trecere de la bovine și găini la caprine și ovine pe măsură ce temperaturile cresc [32]. După cum s-a arătat anterior în Figura 2, resursele genetice animale (AnGR) - fondul de 38 de specii de păsări și mamifere domestice, cu peste 8 800 de rase utilizate în prezent pentru alimentație și agricultură, ar putea avea un rol important în cadrul acestei strategii.

2) Ajustarea ratelor de populare reprezintă o abordare proactivă și adaptivă pentru atenuarea schimbărilor climatice în sistemele de producție animală. Studiile realizate de Diaz-Solis și colaboratorii [33] și Mu și colaboratorii [34] demonstrează eficacitatea gestionării flexibile a ratei de populare în reducerea vulnerabilității sistemelor de creștere a animalelor la secetă și la alți factori de stres legați de climă. Prin punerea în aplicare a unor rate de populare flexibile care țin cont de variabilitatea mediului, producătorii pot optimiza performanța animalelor, minimizând în același timp riscul de suprapășunat și de epuizare a resurselor furajere în perioadele de secetă, menținând astfel sănătatea ecosistemului și sporind rezistența generală la provocările legate de climă.

3) Integrarea creșterii animalelor cu silvicultura sau agricultura oferă avantaje sinergice, inclusiv îmbunătățirea calității solului și a circulației nutrienților. Astfel de abordări combinate ajută la

conservarea solului, reduc dependența de substanțe chimice și favorizează economiile de scară în cadrul operațiunilor agricole.

Ryschawy și colaboratorii [35] au demonstrat că sistemele mixte cultură-animal asigură o abordare economică și ecologică a agriculturii. Aceste sisteme implică producția simultană de culturi și animale pe același teren, permițând sinergii între diferitele componente ale sistemului agricol. Prin diversificarea fluxurilor de venituri și a ciclului nutrienților, sistemele mixte cultură-animal pot îmbunătăți rezistența exploatațiilor agricole la variabilitatea climatică și la fluctuațiile pieței. În mod similar, Alves și colaboratorii [36] au explorat perspectivele sistemelor integrate cultură-animal-pădure ca formă durabilă de intensificare a agriculturii. Aceste sisteme integrează culturile de arbori sau pădurile cu producția vegetală și animală tradițională, creând diverse agroecosisteme care oferă beneficii multiple. Prin sechestrarea carbonului, sporirea fertilității solului și furnizarea de surse suplimentare de venit, sistemele integrate cultură-viticultură-silvicultură contribuie la atenuarea schimbărilor climatice, sprijinind în același timp mijloacele de trai ale populației rurale.

Bibliografie

1. Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022). Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. Atmosphere, 13(1), Article 1.
2. Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., Nardone, A. (2010) Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Animal, 4, 1167-1183.
3. Luo, H., Li, X., Hu, L., Xu, W., Chu, Q., Liu, A. (2021) Genomic analyses and biological validation of candidate genes for rectal temperature as an indicator of heat stress in Holstein cattle. J Dairy Sci. 104:4441–51.
4. Luo, H., Hu, L., Brito, L.F., Dou, J., Sammad, A., Chang, Y. (2022) Weighted single-step GWAS and RNA sequencing reveals key candidate genes associated with physiological indicators of heat stress in Holstein cattle. J Animal Sci Biotechnol. 13:108.
5. Otto, P.I., Guimarães, S.E.F., Verardo, L.L., Azevedo, A.L.S., Vandenplas, J., Sevillano, C.A. (2019) Genome-wide association studies for heat stress response in Bos taurus×Bos indicus crossbred cattle. J Dairy Sci. 102:8148–58.
6. Dikmen, S., Wang, X.Z., Ortega, M.S., Cole, J.B., Null, D.J., Hansen, P.J. (2015). Single nucleotide polymorphisms associated with thermoregulation in lactating dairy cows exposed to heat stress. J Anim Breed Genet. 132:409–19.
7. Hansen, P.J. (2020). Prospects for gene introgression or gene editing as a strategy for reduction of the impact of heat stress on production and reproduction in cattle. Theriogenology. 154:190–202.
8. Worku, D., Hussen, J., De Matteis, G., Schusser, B., Alhussien, M.N. (2023). Candidate genes associated with heat stress and breeding strategies to relieve its effects in dairy cattle: a deeper insight into the genetic architecture and immune response to heat stress. Frontiers in Veterinary Science, 10.
9. Trail, J. C. M., Gregory, K. E., Marples, H. J. S., Kakonge, J. (1985). Comparison of Bos taurus-Bos indicus breed crosses with straightbred Bos indicus breeds of cattle for maternal and individual traits. Journal of Animal Science, 60(5), 1181-1187.
10. Madalena, F. E. (2002). Dairy Animals| Bos Indicus Breeds and Bos Indicus× Bos Taurus Crosses.
11. Patra, A.K. (2017).Accounting methane and nitrous oxide emissions, and carbon footprints of livestock food products in different states of India. J. Clean. Prod. 162, 678–686.
12. Dikmen, S. E. R. D. A. L., Alava, E., Pontes, E., Fear, J. M., Dikmen, B. Y., Olson, T. A., Hansen, P. J. (2008). Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. Journal of dairy science, 91(9), 3395-3402.
13. Dikmen, S. E. R. D. A. L., Khan, F. A., Huson, H. J., Sonstegard, T. S., Moss, J. I., Dahl, G. E., Hansen, P. J. (2014). The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. Journal of dairy science, 97(9), 5508-5520.
14. FAO: Livestock diversity helps cope with climate change. Retrieved from https://www.fao.org/3/i6232e/i6232e.pdfhttps://www.fao.org/3/i6232e/i6232e.pdf
15. Hoffmann, I. (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. Animal Genetics, 41(s1), 32–46.
16. FAO(2006). Breed Diversity in Dryland Ecosystems. Information Document 9, Fourth Session of the Intergovernmental Technical Working Group on Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome. Retrieved from
http://www.fao.org/Ag/againfo/programmes/en/genetics/documents/ITWG-AnGr4/CGRFA-WGAnGr-4-06-inf9.pdf.
17. Passamonti, M. M., Somenzi, E., Barbato, M., Chillemi, G., Colli, L., Joost, S., Milanesi, M., Negrini, R., Santini, M., Vajana, E., Williams, J. L., Ajmone-Marsan, P. (2021). The Quest for Genes Involved in Adaptation to Climate Change in Ruminant Livestock. Animals : an open access journal from MDPI, 11(10), 2833.
18. Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J.L., Collier, R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. Animal, 6(5), 707-728.

19. Veissier, I., Palme, R., Moons, C. P., Ampe, B., Sonck, B., Andanson, S., Tuyttens, F. A. (2018). Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. International Journal of Biometeorology, 62, 585-595.
20. Sharpe, K.T., Heins, B.J., Buchanan, E.S., Reese, M.H. (2021). Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. Journal of Dairy Science, 104(3), 2794-2806. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18821.
21. Stone, A. (2020). Relieving heat stress in dairy cattle. Research OUTREACH, 119. Available at: https://researchoutreach.org/articles/relieving-heat-stress-in-dairy-cattle/
22. Huynh, T.T.T. (2005). Heat Stress in Growing Pigs. Wageningen University and Research. Retrieved from https://www.proquest.com/docview/2449468017/abstract/BAD39E82C2B7419EPQ/
23. Hu, Z., Yang, Q., Tao, Y., Shi, L., Tu, J., Wang, Y. (2023). A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms. Sustainable Cities and Society, 89, 104372.
24. Schauberger, G., Mikovits, C., Zollitsch, W., Hortenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Knauder, W., Anders, I., Andre, K. (2019). Global warming impact on confined livestock in buildings: Efficacy of adaptation measures to reduce heat stress for growing-fattening pigs. Clim. Change, 156, 567-587.
25. Jeon, J.H., Yeon, S.C., Choi, Y.H., Min, W., Kim, S., Kim, P.J., Chang, H.H. (2006). Effects of chilled drinking water on the performance of lactating sows and their litters during high ambient temperatures under farm conditions. Livestock Science, 105, 86–93.
26. Pettigrew, J.E., Moser, R.L., Cornelius, S.G., Miller, K.P. (1985). Feed consumption by lactating sows as affected by feeder design and corn particle size. Journal of Animal Science, 61(suppl.1), 107.
27. Myer, R.O., Brendemuhl, J.H., Bucklin, R.A. (2008). Effect of season on growth performance of finishing pigs fed low-protein, amino acid supplemented diets. Journal of Applied Animal Research, 34, 1–8.
28. Renaudeau, D., Gourdine, J.L., Silva, B.A.N., Noblet, J. (2008). Nutritional routes to attenuate heat stress in pigs. In Livestock and Global Climate Change (Eds. P. Rowginson, M. Steele, A. Nefzaoui), pp. 134–138. Hammamet, Tunisia: Cambridge University Press.
29. Holt, S.M., Gaughan, J.B., Mader, T.L. (2004). Feeding strategies for grain-fed cattle in a hot environment. Australian Journal of Agricultural Research, 55, 719–725.
30. Mader, T.L., Davis, M.S. (2004). Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: feed and water intake. Journal of Animal Science, 82, 3077–3087.
31. Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., Destruel, M., Dumont, B. (2020). Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. Agricultural Systems, 181, 102821.
32. Seo S.N., Mendelsohn R. (2008) Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management. Agricultural Economics 38, 151–65.
33. Diaz-Solis, H., Grant, W.E., Kothmann, M.M., Teague, W.R., Diaz-Garcia, J.A. (2009). Adaptive management of stocking rates to reduce effects of drought on cow-calf production systems in semi-arid rangelands. Agricultural Systems, 100, 43-50.
34. Mu, J.E., McCarl, B.A., Wein, A.M. (2013). Adaptation to climate change: Changes in farmland use and stocking rate in the U.S. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 18, 713-730.
35. Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Bonnain, A., Gibon, A. (2012). Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? Animal, 6, 1722-1730.
36. Alves, B.J.R., Madari, B.E., Boddey, R.M. (2017). Integrated crop-livestock-forestry systems: Prospects for a sustainable agricultural intensification. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 108, 1-4.

Posibilități pentru încurajarea și implementarea strategiilor de limitare și adaptare la schimbările climatice

Producția de animale joacă, fără îndoială, un rol esențial în securitatea alimentară globală și dezvoltarea economică. Având în vedere amenințarea iminentă datorată schimbărilor climatice, este crucial să folosim rapid și eficient toate instrumentele disponibile pe baza înțelegerii noastre actuale. Capitolele anterioare au explorat pe larg corelația dintre schimbările climatice și producția de animale, alături de discuții detaliate despre strategiile de adaptare și atenuare pentru a reduce impacturile actuale și viitoare. Pentru a accelera și îmbunătăți implementarea cu succes a acestor strategii, este imperativ să existe un sprijin solid în cadrul instituțiilor sociale și guvernamentale. Acest capitol examinează oportunitățile de încurajare și implementare a strategiilor adoptate în producția de animale, concentrându-se pe intervențiile politice, inițiativele de instruire și progresele tehnologice.

Politici și suport instituțional

Politicile și reglementările sunt esențiale pentru crearea unui cadru de sprijin menit să faciliteze adaptarea și atenuarea schimbărilor climatice în producția de animale. Având în vedere variabilitatea impactului schimbărilor climatice asupra diferitelor sisteme de creștere a animalelor, înțelegerea acestor fenomene este esențială pentru elaborarea unor politici și practici eficiente [1]. Pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, a minimiza impactul asupra mediului și a spori reziliența climatică, guvernele pot stabili standarde de reglementare pentru practicile de creștere a animalelor. Aceste standarde pot include limite pentru emisiile rezultate din operațiunile de creștere a animalelor, cerințe pentru gestionarea deșeurilor și planuri de gestionare a nutrienților, precum și ghiduri pentru practici sustenabile de utilizare a terenurilor. Unele dintre cele mai frecvent utilizate reglementări și măsuri aplicate de guverne, în special în țările dezvoltate, includ următoarele [2]:

- **Prețul carbonului**: Implementarea mecanismelor de preț al carbonului, cum ar fi taxele pe carbon sau sistemele de plafonare și comercializare, poate crea stimulente economice pentru producătorii de animale pentru a reduce amprenta de carbon. Prin punerea unui preț pe emisiile de carbon, aceste politici încurajează fermierii să investească în tehnologii și practici care reduc emisiile și cresc eficiența.

- **Planificarea utilizării terenurilor**: Reglementările privind planificarea utilizării terenurilor pot ajuta la prevenirea extinderii producției de animale în zonele sensibile din punct de vedere ecologic, cum ar fi pădurile sau zonele umede, și la promovarea practicilor sustenabile de gestionare a terenurilor. Reglementările de zonare, desemnările de arii protejate și servituțile de conservare pot ajuta la conservarea habitatelor critice și a serviciilor ecosistemice, promovând în același timp reziliența climatică.

- **Gestionarea apei**: Reglementările privind utilizarea și gestionarea apei pot ajuta la abordarea problemelor de deficit și calitate a apei asociate cu producția de animale. Aceste reglementări pot include restricții privind consumurile de apă, cerințe pentru măsuri de conservare a apei și ghiduri pentru protejarea resurselor de apă împotriva poluării.

- **Bunăstarea animalelor**: Legislația și reglementările care vizează promovarea bunăstării animalelor în producția de animale pot sprijini indirect eforturile de adaptare și atenuare a schimbărilor climatice prin îmbunătățirea sănătății și productivității animalelor. Standardele pentru adăpostirea, manipularea și transportul animalelor pot reduce stresul și incidența bolilor, ducând la o utilizare mai eficientă a resurselor și la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră pe unitate de producție.

- **Sprijinirea utilizării Energiei Regenerabile**: Guvernele pot adopta politici pentru a promova utilizarea tehnologiilor de energie regenerabilă în fermele de animale, cum ar fi panourile solare sau instalațiile de producere de biogaz. Stimulentele, cum ar fi tarife de alimentare, credite fiscale sau granturi, pot

ajuta la compensarea costurilor de instalare a sistemelor de energie regenerabilă și pot încuraja fermierii să producă energie curată la fermă, reducând dependența de combustibilii fosili și scăzând emisiile.

Pe de altă parte, guvernele pot introduce stimulente, subvenții și alte instrumente de politică pentru a promova adoptarea tehnicilor agricole durabile și reziliente la schimbările climatice, cum ar fi sistemele agroforestiere, pășunatul prin rotație și măsurile de conservare a apei. De exemplu, reformele recente ale Politicii Agricole Comune (PAC) a Uniunii Europene au pus accent pe durabilitatea mediului, inclusiv măsuri pentru a încuraja agricultura inteligentă din punct de vedere climatic și pentru a sprijini abordările agroecologice [3]. Aceste inițiative de mediu sunt componente integrale ale PAC:

- **Criterii de conformitate transversală**: leagă asistența financiară de respectarea reglementărilor UE privind standardele de mediu, precum și sănătatea umană, vegetală și animală.

- **Plăți directe verzi**: mandatează acțiuni specifice (cum ar fi conservarea pajiștilor permanente, promovarea diversității culturilor și stabilirea de zone de interes ecologic), fiecare vizând protecția mediului și abordarea schimbărilor climatice.

- **Politici de dezvoltare rurală**: susțin investițiile și practicile agricole care promovează acțiuni climatice și gestionarea durabilă a resurselor naturale.

PAC contribuie semnificativ la combaterea schimbărilor climatice, alocând aproximativ un sfert din finanțarea sa din 2014-20 pentru acțiuni legate de climă. Acestea includ reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin gestionarea îmbunătățită a animalelor și investiții în depozitarea gunoiului de grajd, sporirea sechestrării carbonului prin protecția solului și restaurarea pădurilor și ajutarea fermierilor să se adapteze la provocările climatice folosind metode și tehnologii noi. Ca rezultat, emisiile agricole au scăzut cu 21% între 1990 și 2017, fără a compromite nivelurile de producție. PAC 2023-27 își propune să consolideze și mai mult sprijinul pentru atenuarea schimbărilor climatice, aliniindu-se cu obiectivul Pactului Verde al UE de a atinge emisii nete zero de gaze cu efect de seră până în 2050 [3]. Pe lângă PAC, ca principal instrument de politică agricolă al UE, există și alte măsuri legislative și de reglementare importante în ceea ce privește schimbările climatice și producția durabilă de animale [3].

- **Reglementări de mediu**: UE a implementat diverse reglementări de mediu care afectează creșterea animalelor, inclusiv directiva-cadru privind apa, directiva privind nitrații și directiva privind emisiile industriale. Aceste reglementări au ca scop protejarea calității apei, reducerea poluării din activitățile agricole și promovarea gestionării durabile a resurselor.
- **Ținte de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră**: UE s-a angajat să reducă emisiile de gaze cu efect de seră cu cel puțin 40% până în 2030, comparativ cu nivelurile din 1990, ca parte a obiectivelor sale climatice generale conform Acordului de la Paris. Pentru a atinge acest obiectiv, UE a adoptat politici precum Regulamentul privind partajarea eforturilor, care stabilește ținte obligatorii de reducere a emisiilor pentru sectoarele neacoperite de Sistemul UE de Comercializare a Emisiilor, inclusiv agricultura.
- **Legislația privind bunăstarea animalelor**: UE a stabilit o legislație cuprinzătoare privind bunăstarea animalelor, care se aplică practicilor de creștere a animalelor. Aceasta include reglementări privind sistemele de adăpostire și creștere, transportul animalelor și metodele de sacrificare, având ca scop asigurarea bunăstării animalelor pe parcursul vieții lor.
- **Energie regenerabilă și eficiență energetică**: UE a implementat politici pentru a promova sursele de energie regenerabilă și pentru a îmbunătăți eficiența energetică, ceea ce poate fi în beneficiul fermelor de animale. Inițiative precum Directiva privind energia regenerabilă și Directiva privind eficiența energetică oferă stimulente și suport pentru adoptarea tehnologiilor de energie regenerabilă și a măsurilor de economisire a energiei în ferme.

- **Finanțare pentru cercetare și inovare**: UE oferă finanțare pentru proiecte de cercetare și inovare care vizează îmbunătățirea durabilității în agricultură, inclusiv în producția animală. Programe precum Horizon 2020 și Planurile Strategice ale Politicii Agricole Comune includ oportunități de finanțare pentru proiecte axate pe adaptarea la schimbările climatice, atenuare și practici agricole durabile.

Aceste măsuri legislative și de reglementare formează un cadru cuprinzător pentru abordarea schimbărilor climatice și promovarea producției durabile de animale în UE.

Dintr-o perspectivă globală, similar UE, factorii de decizie politică pot promova investițiile în infrastructura rezilientă, cercetare și servicii de extensie prin alinierea politicilor agricole cu obiectivele climatice [4]. De exemplu, unul dintre cele mai mari consorții mondiale de fonduri - Facilitatea Globală de Mediu (GEF) a alocat peste 22 miliarde de dolari și a atras 120 miliarde de dolari în cofinanțare pentru peste 5.000 de inițiative naționale și regionale în ultimii 30 de ani [5].

Oferirea de suport instituțional, cum ar fi accesul la credit, asigurare sau asistență tehnică, poate ajuta la depășirea barierelor în adoptarea practicilor inteligente din punct de vedere climatic, în special pentru fermierii mici sau pentru cei care operează în medii cu resurse limitate [6].

În general, o varietate de mecanisme financiare, cum ar fi creditele de carbon, plățile pentru serviciile ecosistemice (PES) sau finanțarea climatică, pot oferi stimulente financiare pentru producătorii de animale ajutându-i să adopte practici prietenoase cu clima. Aceste stimulente pot ajuta la compensarea costurilor asociate cu implementarea noilor tehnologii sau tranziția la metode de agricultură mai durabile [7].

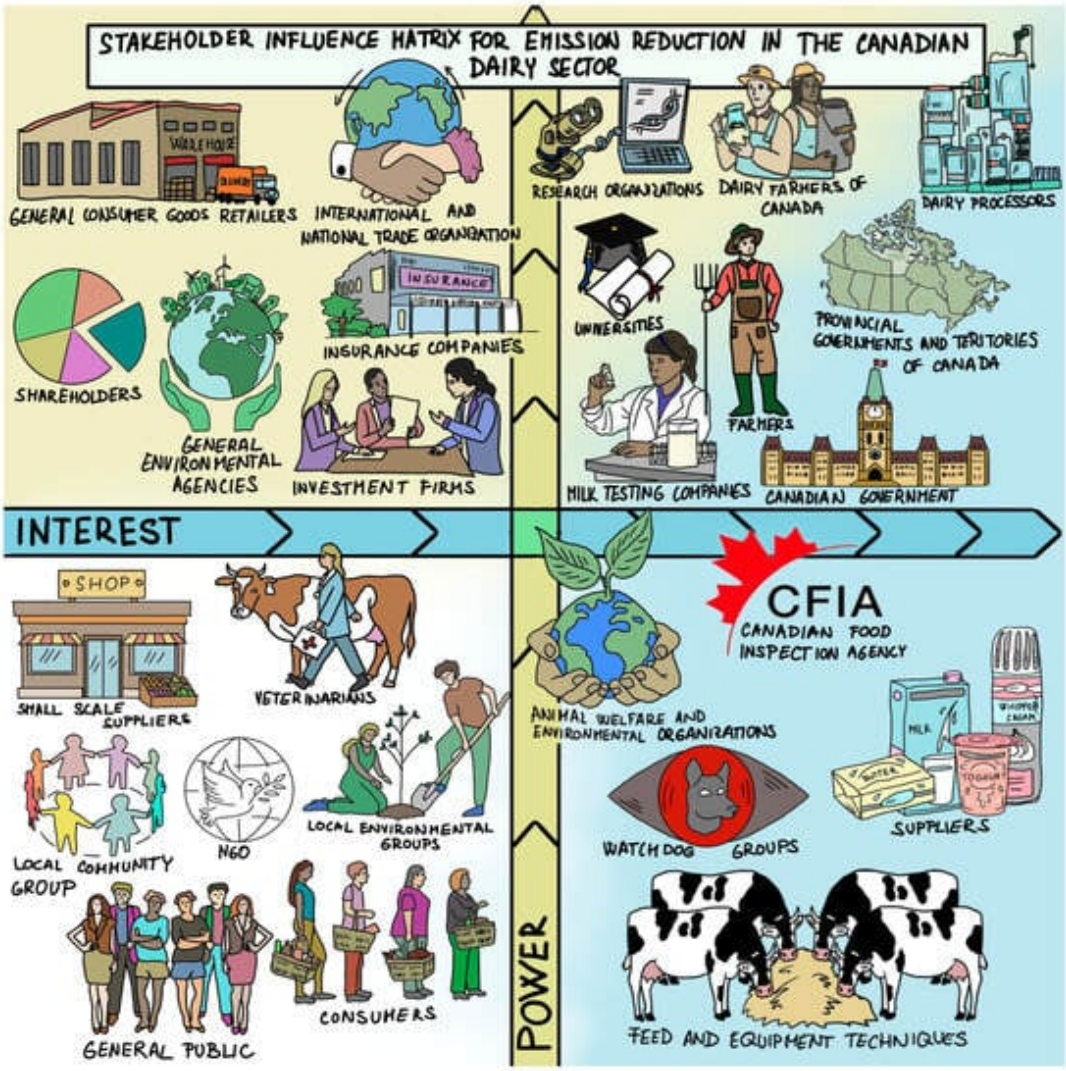


Figura 1. Un exemplu legat despre cum grupuri sau indivizi diferiți pot face diferența pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în industria procesării laptelui în Canada [10].

Îmbunătățirea conștientizării și înțelegerii

Fermierii au deseori îndoieli cu privire la veridicitatea afirmațiilor despre existența schimbărilor climatice, în ciuda faptului că experimentează direct efectele negative asupra producției lor. Prin urmare, este necesar să se cultive încrederea în cunoștințele științifice, precum și în acțiunile guvernamentale ghidate de aceste fapte. Programele de instruire pot spori conștientizarea și înțelegerea fermierilor cu privire la impactul schimbărilor climatice asupra producției de animale. Prin oferirea de educație despre riscurile și vulnerabilitățile potențiale, precum și despre măsurile disponibile de adaptare și atenuare, fermierii pot lua decizii informate pentru a-și proteja mijloacele de trai [8].

Pe lângă fermieri, creșterea conștientizării publice cu privire la importanța producției sustenabile de animale și rolul consumatorilor în determinarea schimbărilor poate crea cerere pentru produse și practici prietenoase cu clima. Campaniile educaționale pentru consumatori, comunicarea prin media și prin intermediul etichetelor pot contribui la informarea acestora despre impactul asupra mediului al alegerilor lor alimentare și pot stimula cererea pentru produse de animale realizate în mod sustenabil [4,9,10].

Programele de instruire și inițiativele de dezvoltare a capacităților



Figure 2. The training activities within the CLIAVE Erasmus+ project aim to enhance farmers' knowledge of climate-smart animal husbandry practices.

Pot fi dezvoltate programe de instruire pentru a-i educa pe fermieri despre impactul schimbărilor climatice și strategiile disponibile pentru a le atenua și a adapta activitățile lor la aceste schimbări. Serviciile de extensie, atelierele și fermele demonstrative pot contribui la diseminarea cunoștințelor și a celor mai bune practici. Inițiativele de formare joacă un rol crucial în dezvoltarea capacității producătorilor de animale de a implementa practici inteligente din punct de vedere climatic. Fermierii pot fi lipsiți de cunoștințe sau abilități tehnice necesare pentru a adopta tehnici agricole sustenabile.

Programele de instruire pot acoperi această lacună furnizând îndrumare practică și experiență practică în domenii precum conservarea solului, gestionarea apei și sănătatea animalelor. Mai mult, prin furnizarea de educație despre practicile inteligente din punct de vedere climatic, cum ar fi

îmbunătățirea gestionării animalelor, eficiența hrănirii și conservarea resurselor, aceste programe pot împuternici fermierii să atenueze și să se adapteze la schimbările climatice. Prin urmare, programele de instruire oferă oportunități valoroase pentru dezvoltarea capacității și diseminarea cunoștințelor în rândul producătorilor de animale.

Accesul la resurse

Intervențiile în domeniul politicii și instruirii pot îmbunătăți accesul fermierilor la resurse și tehnologii necesare pentru adaptarea și atenuarea schimbărilor climatice. Acest lucru include accesul la soiuri de culturi rezistente la climă, pășuni tolerante la secetă, rase îmbunătățite de animale și soluții de energie regenerabilă. Prin facilitarea accesului la aceste resurse, decidenții politici și programele de instruire pot împuternici fermierii să-și îmbunătățească rezistența la schimbările climatice [6].

Cercetare, inovare, colaborare și diseminarea cunoștințelor



Figura 3. *Modelul contemporan pentru creșterea durabilă a bovinelor pentru lapte[10].*

Investițiile în cercetare și dezvoltare a noilor tehnologii și inovații adaptate sectorului zootehnic pot contribui la îmbunătățirea rezilienței la schimbările climatice. Acest lucru poate include creșterea raselor de animale mai rezistente la căldură, dezvoltarea suplimentelor alimentare care reduc emisiile

de metan sau proiectarea sistemelor de adăposturi eficiente din punct de vedere energetic. Progresele în agricultura de precizie, tehnologiile de monitorizare la distanță și instrumentele de monitorizare digitală permit fermierilor să optimizeze utilizarea resurselor, să minimizeze impactul asupra mediului și să răspundă eficient la variabilitatea climatică. De exemplu, senzorii portabili pot monitoriza sănătatea și comportamentul animalelor în timp real, ajutând fermierii să identifice și să atenueze riscurile de stres termic [11]. Cercetarea trebuie să integreze impactul schimbărilor climatice cu eforturile de adaptare ale crescătorilor de animale pentru a informa deciziile politice și pentru a susține eficient opțiunile de adaptare vizate. Stabilirea acestor dovezi este crucială pentru asigurarea faptului că adaptarea se aliniază cu nevoile sectorului zootehnic și răspunde cererii tot mai mari pentru produsele de origine animală [9].

Încurajarea colaborării și diseminarea cunoștințelor între părțile interesate, inclusiv fermieri, cercetători, factori de decizie politici și reprezentanți ai industriei, poate facilita schimbul de idei, experiențe și cele mai bune practici. Platforme precum rețelele de fermieri, consorțiile de cercetare și parteneriatele multi-stakeholder pot promova colaborarea și acțiunea colectivă. Îmbunătățirea capacității de inovare și oferirea de sprijin fermierilor sunt vitale pentru extinderea agriculturii durabile și regenerative, maximizând astfel efectele sale pozitive. Agricultura deține un potențial semnificativ în reducerea impactului schimbărilor climatice, iar prin promovarea colaborării între fermieri și alți actori din sistemul alimentar, provocările pot fi abordate mai cuprinzător. Inițiative precum Fermele de Testare [12] facilitează parteneriatele între fermieri și startup-uri, permițând fermierilor să dobândească noi competențe iar startup-urilor să își testeze soluțiile cu sprijin pentru scalabilitate.

Managementul riscurilor

Producătorii de animale se confruntă cu o serie de riscuri legate de climă, inclusiv stresul termic, seceta, izbucnirile de boli și lipsa hranei. Strategiile de adaptare și de reducere a impactului pot ajuta la atenuarea acestor riscuri și la construirea rezilienței în fața incertitudinii. Prin furnizarea de instruire în evaluarea și gestionarea riscurilor, precum și accesul la mecanisme de asigurare și sprijin financiar, fermierii pot face față mai bine provocărilor legate de climă [13].

În concluzie, strategiile de reducere a impactului și de adaptare sunt esențiale pentru construirea rezilienței climatice în sistemele de producție de animale. Programele de instruire, intervențiile politice și inovațiile tehnologice oferă căi promițătoare pentru încurajarea și implementarea acestor strategii. Prin investiții în educație, sprijin politic și cercetare și dezvoltare, părțile interesate pot promova practici durabile care să îmbunătățească productivitatea, rentabilitatea și sustenabilitatea mediului în fermele de animale.

Bibliografie

1. Thornton, P. K., Herrero, M. (2014). Climate change adaptation in mixed crop–livestock systems in developing countries. Global Food Security, 3(2), 99-107.
2. FAO. (2022). FAO Strategy on Climate Change 2022–2031.Retrieved from https://www.fao.org/3/cc2274en/cc2274en.pdf
3. European Commission. (n.d.). CAP and Environment. Retrieved from https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/environmental-sustainability/cap-and-environment_en
4. IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
5. IFAD. (n.d.). Global Environment Facility. Retrieved from https://www.ifad.org/en/gef
6. UNDP. (2019). Climate Change Adaptation in Agriculture. United Nations Development Programme. Retrieved from http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environmentenergy/climate_change/adaptation-in-agriculture.html
7. Wollenberg, E., Tennigkeit, T., Dinesh, D., Baumert, S., Röhrig, F., Kirfel-Rühle, L., Zeppenfeldt, L. (2022). Compensating farmers for ecosystem services: Lessons and an agenda for innovation (executive summary). CompensACTION Policy Brief.
8. Hall, C., Wreford, A. (2012). Adaptation to climate change: the attitudes of stakeholders in the livestock industry. Mitigation and adaptation strategies for global change, 17, 207-222.
9. Escarcha, J.F., Lassa, J.A., Zander, K.K. (2018). Livestock Under Climate Change: A Systematic Review of Impacts and Adaptation. Climate 6, no. 3: 54. https://doi.org/10.3390/cli6030054
10. Neethirajan, S. Innovative Strategies for Sustainable Dairy Farming in Canada amidst Climate Change.(2024). Sustainability, 16, 265. https://doi.org/10.3390/su16010265
11. Alipio, M., Villena, M. L. (2023). Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. Smart Health, 27, 100369.
12. EIT Food. (n.d.). Test Farms. Retrieved from https://www.eitfood.eu/projects/test-farms
13. Sidahmed, A. (2008). Livestock and Climate Change: Coping and Risk Management Strategies for a Sustainable Future. In Livestock and Global Climate Change conference proceeding, May 2008, Tunisia."

6. Îmbunătățirea eficienței energetice și furnizării de energie regenerabilă în sectorul agricol

Dr. Burçin ATILGAN TÜRKMEN
Levent BURGU

Cuprins

- Energie
- Agricultură sustenabilă
- Utilizarea energiei în sectorul agricol
- Producerea de energie în sectorul agricol: bioenergie
- Managementul energetic în producția agricolă
- Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură I
- Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură II
- Posibilități de eficientizare energetică a sectorului agricol

Introducere

Agricultura este unul dintre cele mai importante sectoare ale economiei multor țări. Energia este esențială pentru creșterea economică și este o componentă necesară pentru productivitatea, competitivitatea și durabilitatea agriculturii. Creșterea populației, urbanizarea și dezvoltarea economică sporesc cererea de alimente și energie.

Agricultura este un proces de conversie a energiei care transformă energia solară în energie alimentară pentru oameni și hrană pentru animale prin fotosinteză. Agricultura utilizează pe scară largă în producția sa energia umană, animală și mecanică. Agricultura modernă necesită utilizarea de energie în toate etapele de producție, inclusiv utilizarea directă a energiei în mașinile agricole, gestionarea apei, irigarea, plantarea, uscarea, depozitarea și recoltarea. În plus, în agricultură se utilizează multe intrări indirecte de energie, cum ar fi îngrășămintele minerale și pesticidele chimice, insecticidele și erbicidele. În prezent, cererea de energie pentru agricultură depinde în principal de energia furnizată de combustibilii fosili. Impactul asupra mediului și problemele de securitate energetică cauzate de utilizarea energiei agricole pot fi reduse prin încurajarea utilizării eficiente a energiei și a surselor regenerabile, cum ar fi energia solară, eoliană, biomasa, energia mareelor, energia geotermală, energia hidroelectrică la scară mică, biocombustibilii și energia generată de valuri. De asemenea, în activitățile agricole este esențial să se utilizeze diverse tehnologii și resurse pentru a crește eficiența energetică în vederea eficientizării costurilor, a reducerii consumului de energie și a reducerii impactului asupra mediului.

Rezolvarea problemei energetice a sectorului agricol este esențială pentru alinierea la Obiectivele de dezvoltare durabilă și la Acordul de la Paris privind schimbările climatice. Combinarea eficienței energetice cu o utilizare sporită a energiei regenerabile va reduce dependența agriculturii de combustibilii fosili, reducând emisiile de gaze cu efect de seră și contribuind la rezolvarea problemei securității alimentare.



Energie

Cererea de energie crește rapid din cauza factorilor precum creșterea populației globale, urbanizarea, industrializarea și dezvoltările tehnologice. Deoarece este o componentă fundamentală a tuturor produselor și este folosită în aproape fiecare aspect al vieții zilnice, energia este un element crucial pentru creșterea nivelului de bunăstare al societăților. Este direct legată de toate aspectele bunăstării umane, inclusiv necesitățile, problemele agricole, îngrijirea sănătății, ocuparea forței de muncă, educația și sustenabilitatea [1]. Procentul de persoane care au acces la electricitate la nivel mondial a crescut de la 83% în 2010 la 91% în 2020. Numărul de indivizi fără acces la electricitate a scăzut în acest timp, de la 1,2 miliarde la 733 de milioane. Doar 92% din populația lumii ar avea acces la electricitate în 2030 dacă lucrurile continuă în acest fel, lăsând 670 de milioane de oameni fără curent [2]. Furnizarea serviciilor energetice trebuie să fie sigură, accesibilă și să aibă efecte negative minime asupra mediului pentru ca dezvoltarea să fie durabilă [3].

Surse de energie

Energia este definită ca capacitatea de a efectua sarcini. Aceasta vine într-o varietate de forme, incluzând energia mecanică (potențială și cinetică), termică, electrică, chimică și nucleară. De asemenea, poate fi convertită dintr-o formă în alta pentru utilizare în diverse aplicații și poate fi clasificată după diferite criterii [4].

Energia primară cuprinde toate sursele de energie care nu au fost transformate, exploatate direct sau importate. După cum este prezentat în Figura 1, există două tipuri diferite de surse de energie primară: neregenerabile și regenerabile. Petrolul, cărbunele, gazul, uraniul și toate celelalte forme de energie regenerabilă, cum ar fi hidroenergia și energia eoliană, sunt exemple de energie primară. În timp ce energia regenerabilă este produsă din resurse care pot fi reînnoite natural în timp și sunt, prin urmare, potrivite pentru utilizare, sursele de energie neregenerabile au o aprovizionare finită deoarece de obicei durează mult timp să se reînnoiască [5, 6]. Energia secundară este creată atunci când energia primară este transformată sau procesată; exemple includ producerea de electricitate din arderea gazului natural sau procesarea hidroenergiei. Obținerea produselor petroliere cum ar fi benzina din rafinarea petrolului brut și producerea cărbunelui de la cărbune sunt alte două exemple de energie secundară [7].

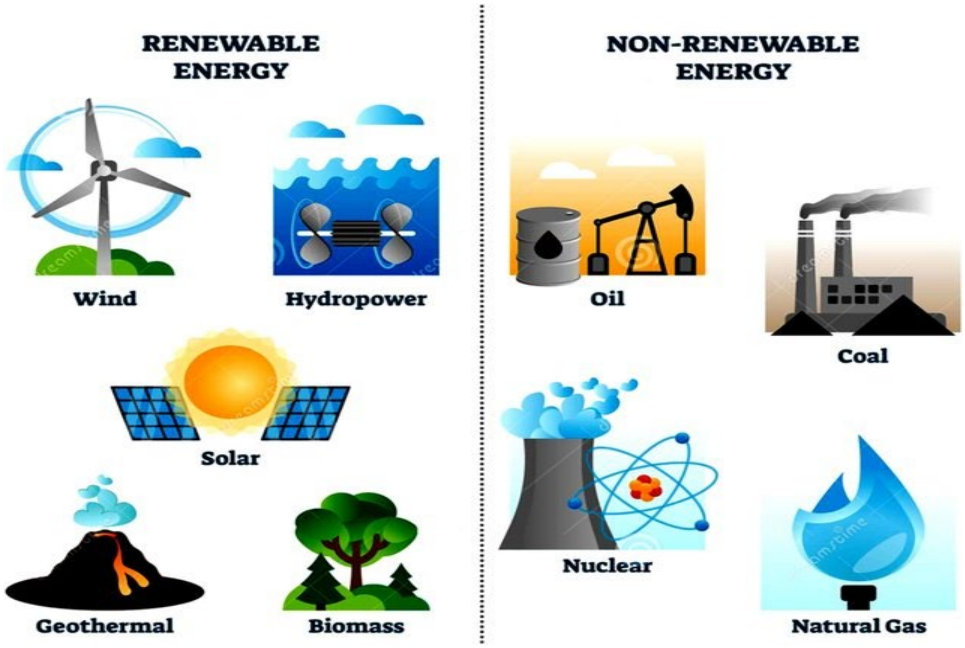


Figura 1: Surse de energie [8].

Surse neregenerabile de energie

Energia neregenerabilă provine din resurse care fie nu pot fi reînnoite în viitorul apropiat, fie a căror rată de reînnoire este semnificativ mai lentă decât rata de utilizare. Deoarece aceste surse de energie primară sunt găsite în cantități limitate în natură, ele sunt considerate resurse neregenerabile. Resursele de energie neregenerabilă includ combustibilii fosili (cărbune, petrol și gaze) și mineralele radioactive, care sunt utilizate în producția de energie nucleară [5].

Cărbunele este o rocă sedimentară care are culoarea neagră sau maro-negricioasă și poate fi arsă pentru a genera energie. Deși cărbunele poate fi folosit în industrie pentru a produce căldură, scopul său principal este de a produce electricitate, iar multe națiuni se bazează pe disponibilitatea sa ca sursă constantă de energie. Petrolul este o amestecătură de hidrocarburi care poate fi găsită în stare lichidă, gazoasă și solidă. Petrolul lichid și gazos, cele două tipuri cele mai răspândite de petrol, sunt de obicei extrase din rezervoare prin forajul puțurilor și pomparea produsului finit la suprafață. Motorina este un produs al petrolului brut care este utilizat pe scară largă în aplicații legate de energie, cum ar fi transportul, încălzirea și generarea electricității. Gazul natural este un gaz care poate fi găsit atât separat, cât și dizolvat în petrolul brut. Are mai multă energie pe unitate de combustibil și, în general, are un impact mai mic asupra mediului decât petrolul brut sau produsele sale, acesta fiind principalul său avantaj. Gazul natural are o varietate de aplicații, de la rezidențiale la comerciale și industriale. Aplicațiile rezidențiale includ gătitul și încălzirea, în timp ce aplicațiile comerciale includ încălzirea spațiilor și a apei. Mineralele radioactive (uraniu sau plutoniu) eliberează energie din atomii lor atunci când nucleul este descompus prin fisiune nucleară, eliberând căldură care poate fi apoi folosită pentru a genera electricitate [1, 6]. Arderea cărbunelui, petrolului sau gazului în centralele electrice pe bază de combustibili fosili produce căldură sub formă de abur, care alimentează turbine masive ce generează electricitate. Aceste mașini generează constant electricitate pentru perioade îndelungate [3].

Surse regenerabile de energie

Sursele de energie regenerabilă sunt acele surse care se pot reînnoi natural, ceea ce le face practic nelimitate. Soarele, căldura Pământului, vântul și apa sunt doar câteva exemple. Energiile derivate din biomasă sunt, de asemenea, considerate regenerabile [9]. Sursele regenerabile au un potențial enorm de a oferi toate serviciile energetice necesare. Dezvoltarea și utilizarea ulterioară a surselor de energie regenerabilă folosind tehnologii moderne de conversie ar îmbunătăți securitatea energetică globală, ar reduce prețul pe termen lung al combustibililor convenționali și ar conserva rezervele de combustibili fosili pentru alte aplicații și generații viitoare [10].

O gamă largă de tehnologii sunt disponibile sau în dezvoltare pentru a furniza servicii de energie regenerabilă accesibile, de încredere și pe termen lung [10]. Energia solară este creată prin conversia luminii solare în căldură sau electricitate. Energia solară este utilizată într-o varietate de tehnologii. Acestea includ încălzirea solară, celulele fotovoltaice și tehnologia de generare a electricității termale solare. Prin arderea biomasei, energia poate fi produsă din biomasă în două moduri: direct ca și căldură sau electricitate, sau indirect, ca un lichid sau gaz care poate produce energie. Lemnul, porumbul, trestia de zahăr, deșeurile animale și deșeurile solide municipale sunt câteva exemple de biomasă. Energia poate fi, de asemenea, derivată din gazul de depozitare sau metan, care rezultă din descompunerea biomasei în depozitele de deșeuri. Tehnologiile de biomasă includ sistemele de energie bazate pe biomasă și biocombustibilii pentru transport. Turbinele eoliene pot transforma energia eoliană în energie electrică sau mecanică. Pentru a valorifica puterea vântului, turbinele eoliene sunt în general alcătuite din pale montate pe arbori și turnuri. Apa curgătoare creează energie care poate fi captată și transformată în electricitate, făcând hidroenergia cea mai curată și mai eficientă modalitate de a genera electricitate. Folosind tehnologia geotermală, căldura din subteranul

Pământului este extrasă și folosită fie direct pentru încălzire și răcire, fie transformată în electricitate [3,9,11].

Tabelul 1 compară avantajele și dezavantajele surselor de energie regenerabilă și neregenerabilă.

Tabelul 1: Comparație între diferite surse de energie [5].

Sursa	***Avantaje***	***Dezavantaje***
Nucleară	• Fără emisii de gaze cu efect de seră • Capabilă să fie convertită eficient • Resursele de uraniu sunt abundente. • Realimentare anuală, spre deosebire de centralele pe cărbune, care necesită trenuri încărcate cu cărbune în fiecare zi.	• Costuri de capital mai ridicate ca rezultat al stocării, gestionării deșeurilor radioactive, conținerii și preocupărilor legate de siguranță. • Problema stocării deșeurilor radioactive pe termen lung. • Problema posibilei proliferări nucleare.
Cărbune	• O ofertă bogată. • Extracția este în prezent ieftină. • Fiabilă și capabilă să producă cantități mari de energie.	• Produc cantități semnificative de gaze cu efect de seră și ploaie acidă. • Mineritul și arderea au un impact mare asupra mediului înconjurător, deși se dezvoltă tehnologii mai curate de ardere a cărbunelui. • Mineritul poate fi periculos pentru sănătatea minerilor.
Petrol	• Baza pentru multe produse, de la medicamente la plastic. • Produs la un cost redus. • Eficient și simplu de transportat.	• Emisii semnificative de gaze cu efect de seră. • Găsit doar în câteva locuri. • Resursele de gaze naturale/ cărbune pot fi epuizate înainte de a fi furnizate. • Impactul potențial asupra mediului înconjurător al forajului și transportului.
Gaz natural	• Este larg disponibil. • Este combustibilul fosil cu arderea cea mai curată; este folosit frecvent în combinație cu alți combustibili. • Puterea produsă poate fi ajustată pentru a satisface cererea.	• Costurile de transport sunt excesiv de mari. • Resursele de gaz sunt indisponibile în unele zone din cauza lipsei de infrastructură. • Arde curat, dar produce emisii. • Conductele au un impact asupra ecosistemelor.
Solară	• Este nepoluant. • Este cea mai abundentă sursă de energie. • Sistemele au o durată de viață de 15-30 de ani.	• Investiție inițială costisitoare. • În zonele cu puțin soare poate fi necesară o sursă suplimentară de energie. • Panourile cu celule fotovoltaice necesită mult spațiu fizic. • Accesibilitate limitată.
Vânt	• Nu există emisii. • Preț rezonabil. • Perturbări minime ale ecosistemelor. • Ieșire extrem de mare.	• Producția este proporțională cu viteza vântului. • Nu este posibil în toate zonele geografice. • Investiție inițială și întreținere costisitoare. • Utilizare extensivă a terenului.
Hidro	• Nu există emisii. • Fiabil și capabil să producă cantități mari de energie.	• Efecte asupra mediului din schimbarea mediului din jurul barajului. • Barajele hidroelectrice sunt costisitoare. • Seceta poate avea un impact asupra barajelor.
Biomasă/ Biocombustibil	• O ofertă abundentă. • Emisii mai scăzute decât cele provenite din combustibilii fosili. • Este potrivit pentru utilizare în motoarele diesel. • Motoarele auto pot fi ușor convertite pt. acești combustibili.	• Pentru a reduce costurile de transport, sursa trebuie să fie aproape de locul utilizării. • Produce oarecare poluare sub formă de deșeuri. • Creșterea emisiilor de oxid de azot. • Se utilizează combustibili fosili în conversie.

Geotermală	• Impactul redus asupra mediului. • Eficient. • Centralele electrice emit puțină poluare. •Costuri reduse după investiția inițială.	• Doar un număr mic de locații de pe Pământ au câmpuri geotermale. • Cheltuieli inițiale semnificative. • Puțurile ar putea seca în cele din urmă.

Sectorul energetic global

Cererea globală de energie crește rapid datorită urbanizării, creșterii populației și celei economice, în special în economiile emergente. Așa cum este prezentat în Figura 2, oferta globală de energie primară (TPES) a crescut de peste 2,6 ori între 1971 și 2019 și a ajuns la 606 EJ [12]. Majoritatea ofertei globale de energie provine din țările Organizației pentru Cooperare și Dezvoltare Economică (OCDE). Începând cu anul 2019, țările OCDE au primit 37,1% din totalul ofertei de energie. China se află pe locul doi, cu o cotă de aprovizionare de 23,5% [12].

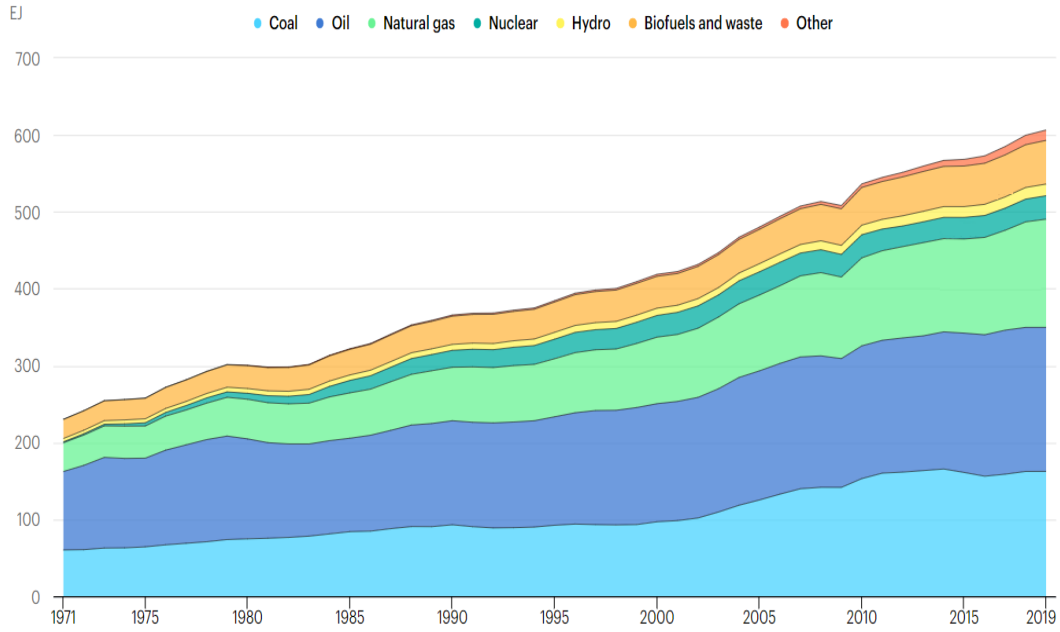


Figura 2: Necesarul global total de energie, 1971-2019 [12].

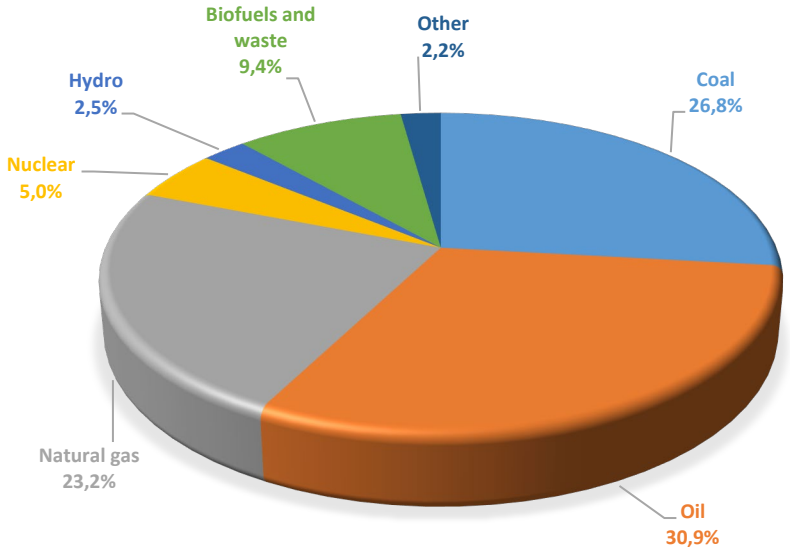


Figura 3: Ponderea globală a aprovizionării totale cu energie, pe surse, 2019 [12]

După cum se arată în Figura 3, în 2019, petrolul a asigurat 30,9% din aprovizionarea mondială cu energie primară, cărbunele 26,8% și gazele naturale 23,2% din aprovizionarea mondială cu energie primară. Urmează sursele regenerabile combustibile și deșeurile (9,4%), energia nucleară (5,0%), energia hidroelectrică (2,5%) și energia eoliană, geotermală și solară (2,2%) [12]. China a dominat pieţele mondiale de energie termică solară, energie hidroelectrică, energie solară fotovoltaică și energie eoliană, reprezentând aproape jumătate din totalul instalațiilor în 2020 [9]. În țările în curs de dezvoltare, biomasa reprezintă peste 20 % din totalul aprovizionării cu energie. În aceste țări, cea mai mare parte a biomasei este utilizată pentru gătit și încălzire [13].

Cererea mondială de energie a crescut cu mai puțin de jumătate din rata de creștere înregistrată în 2018, ajungând la 418 EJ (Exajoule) în 2019. După cum se prezintă în Figura 2, petrolul (40,4%) a rămas combustibilul dominant pentru consumul final de energie, urmat de electricitate (19,7%), gaze naturale (14,5%), biocombustibili (10,4%), cărbune (9,5%) și altele (3,6%), inclusiv eoliană, solară, hidroenergie și geotermală [12].

La nivel regional, cu o creștere de 3,4%, China a reprezentat 90% din creșterea netă a cererii globale de energie în 2019, în timp ce cererea de energie a scăzut în aproape toate economiile avansate. Cererea de energie în Uniunea Europeană a scăzut cu 2%, în timp ce în Statele Unite a scăzut cu 0,8%. În timp ce cererea în Asia de Sud-Est a crescut într-un ritm rapid de 3,4%, în India a scăzut de la 4% în 2018 la 0,9% în 2019, cel mai scăzut nivel din 2007 [12].

În ciuda faptului că utilizează cea mai mare parte a energiei regenerabile (26%), industria energetică a reprezentat doar 17% din consumul final total de energie în 2019. Sursele regenerabile continuă să joace un rol minor în cererea de energie industrială, în special în industriile care necesită temperaturi de procesare ridicate. Energia regenerabilă reprezintă aproximativ 14,8% din cererea totală de energie industrială și este utilizată în principal în întreprinderile care necesită căldură pentru procese la temperaturi nu foarte ridicate. Energia electrică din surse regenerabile reprezintă 10% din căldura industrială regenerabilă, dar numai 1% din consumul total de căldură industrială în 2019. Sectorul transporturilor continuă să aibă cea mai mică pondere de energie regenerabilă, petrolul și produsele petroliere (împreună cu 0,8% energie electrică neregenerabilă) acoperind aproape toate nevoile energetice globale în domeniul transporturilor (95,8%). Doar 3,1 % și 0,3 % din aceste nevoi au fost satisfăcute de biocombustibili și, respectiv, de energia electrică din surse regenerabile. Energia regenerabilă satisface o parte din ce în ce mai mare din cererea finală de energie din clădiri, dar reprezintă încă mai puțin de 15% din cererea totală de energie [9].

Sectorul energetic este un sector critic pentru dezvoltarea pe termen lung a oricărei țări; cu toate acestea, producția și consumul său au consecințe ecologice, economice și sociale, cum ar fi schimbările climatice, poluarea și sărăcia energetică. Energia durabilă este definită ca fiind energia care poate fi utilizată în mod repetat și care satisface nevoile noastre actuale de energie fără a fi pusă în pericol de a dispărea sau a se epuiza [3, 14]. Atunci când cărbunele, petrolul sau gazul sunt arse în centralele electrice pe bază de combustibili fosili, se produce căldură sub formă de abur, care alimentează turbine masive care generează electricitate. Aceste mașini produc electricitate în mod constant pentru perioade de timp îndelungate. În schimb, arderea combustibililor fosili emite cantități mari de gaze cu efect de seră și alte gaze și solide nocive în atmosferă, provocând schimbări climatice, ploi acide și contaminarea solului și a apei. Utilizarea resurselor de energie regenerabilă pentru a genera electricitate în locul combustibililor fosili reduce emisiile din sectorul energetic [3, 15]. Este esențial să se stabilească un sistem energetic care să satisfacă nevoile economice, protejând în același timp mediul înconjurător, deoarece producția, conversia și utilizarea energiei au o influență negativă substanțială asupra mediului. Emisiile globale de CO_2 legate de nivelurile de energie au stagnat în 2019 la

aproximativ 33 de gigatone (Gt). Emisiile de carbon legate de utilizarea energiei au crescut cu 0,5% între 2018 și 2019, mai puțin de jumătate din rata medie anuală de creștere de 1,1% pe 10 ani [12, 16].

Avantajele energiei regenerabile pentru mediu, cum ar fi reducerea emisiilor de carbon și a poluării aerului, sunt bine cunoscute. Însă abia în ultimele decenii, odată cu răspândirea utilizării tehnologiilor de energie regenerabilă, au devenit evidente numeroasele avantaje socio-economice ale acestora. În fiecare an, un număr considerabil de locuri de muncă sunt create în întreaga lume datorită energiei regenerabile. Un număr record de 10,3 milioane de persoane au fost angajate la nivel mondial în industria energiei regenerabile. Mai mult de un miliard de oameni trăiesc în zone fără acces la electricitate, iar un alt miliard se bazează pe aprovizionarea neregulată. Pentru cei 80% dintre persoanele care nu au acces în zonele rurale sau în micile state insulare în curs de dezvoltare, soluțiile de microenergie electrică din surse regenerabile sunt acum fezabile din punct de vedere financiar datorită fiabilității sporite, a scăderii rapide a costurilor tehnologiei și a politicilor de sprijin [15].

Enficiența energetică

Eficiența energetică este raportul dintre energia consumată și cea produsă în termeni de performanță, funcționare, produse sau energie. Aceasta înseamnă realizarea aceluiași efort cu mai puțină energie. Eficiența energetică se exprimă în mod obișnuit prin cantitatea de energie produsă pentru o anumită cantitate de energie consumată și se exprimă sub formă de procent între 0% și 100%. De la producția de energie la consumul de energie, există multiple locuri de-a lungul lanțului în care eficiența energetică poate fi crescută [17].

Eficiența energetică are mai multe avantaje, inclusiv emisii mai mici de gaze cu efect de seră, o cerere mai mică de importuri de energie și cheltuieli mai mici pentru gospodării și economie. Fiecare domeniu al economiei are un potențial semnificativ de îmbunătățire a eficienței, fie că este vorba de locuințe, transporturi, industrie sau generare de energie. Inițiativele de eficiență energetică pot duce la crearea de noi locuri de muncă în sectorul energetic și în industrie [6, 17].

Eficiența energetică primară globală a crescut cu 1,9% pe an, de la 5,6 megajouli pe dolar în 2010 la 4,7 în 2019. Pentru a atinge obiectivul de eficiență energetică, rata anuală de creștere trebuie să fie în medie de 3,2% pe an până în 2030 [2].

Bibliografie

1. WEC, *World Energy Resources, World Energy Council*. 2016.
2. UN. *The Sustainable Development Goals Report 2022, United Nations*. 2022 13/10/2022]; Available from: https://unstats.un.org/sdgs/.
3. IPCC, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, ed. R.P.-M. Ottmar Edenhofer, Youba Sokona, Kristin Seyboth, Patrick Matschoss, Susanne Kadner, Timm Zwickel, Patrick Eickemeier, Gerrit Hansen, Steffen Schloemer, Christoph von Stechow. 2011: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. Ackerman, C., et al., *Primary Energy Infobook, The National Energy Education Development (NEED) Project* in 2019.
5. Zohuri, B. and P. McDaniel, *Chapter 9 - Energy insight: an energy essential guide*, in *Introduction to Energy Essentials*, B. Zohuri and P. McDaniel, Editors. 2021, Academic Press. p. 321-370.
6. IEA, *Energy Technology Perspectives 2020, International Energy Agency*. 2020.
7. Iliev, I., et al., *Energy Efficiency and Energy Management Handbook*. Bulgaria Energy Efficiency for Competitive Industry Financing Facility (BEECIFF): Project Preparation, Capacity Building and Implementation Support, ed. I.K. Iliev. 2012.
8. Rahman, M., J.-H. Kim, and S. Hossain, *Recent Advances of Energy Storage Technologies for Grid: A Comprehensive Review.* Energy Storage, 2022.
9. REN21, *Renewables 2021 Global Status Report, Paris: REN21 Secretariat*. 2021.
10. Turkenburg, W., et al., *Renewable Energy (Chapter 11)*, in *Global Energy Assessment*, J.ü.r. Schmid, Editor. 2012, Cambridge University Press.
11. Panwar, N.L., S.C. Kaushik, and S. Kothari, *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(3): p. 1513-1524.
12. IEA, *Key World Energy Statistics*, International Energy Agency, Editor. 2021, Energy Information Administration: Paris.
13. IRENA, *Hydropower*, in *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*. 2022, International Renewable Energy Agency: Germany.
14. Hollaway, L.C., *19 - Sustainable energy production: key material requirements*, in *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications*, J. Bai, Editor. 2013, Woodhead Publishing. p. 705-736.
15. IRENA. *Renewable Energy Benefits, International Renewable Energy Agency*. 2022 12/10/2022]; Available from: https://www.irena.org/benefits.
16. BP, *BP Statistical Review of World Energy*. 2020, British Petroleum: London. p. 1-44.
17. Erbach, G., *Briefing 2015, Understanding Energy Efficiency, EPRS | European Parliamentary Research Service*. 2015.

Agricultura sustenabilă

Singura sursă de hrană pentru oameni este agricultura. În timp ce asigură securitatea alimentară globală, agricultura durabilă ar trebui să sprijine gestionarea durabilă a terenurilor, a apei și a resurselor naturale. Pentru ca agricultura să fie durabilă, trebuie să furnizeze bunuri și servicii care să satisfacă nevoile generațiilor prezente și viitoare, menținând în același timp rentabilitatea, sănătatea mediului și echitatea socială și economică [1, 2]. Sistemele de producție alimentară, precum și politicile și instituțiile care susțin securitatea alimentară globală, sunt din ce în ce mai incapabile să reducă insecuritatea alimentară sau să asigure durabilitatea mediului [3].

Dezvoltare sustenabilă

Sustenabilitatea se bazează pe principiul „satisfacerea nevoilor prezentului fără a compromite capacitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi". Un obiectiv major al sustenabilității este ca oamenii să trăiască în pace și pe termen lung pe Pământ. Deciziile la nivel internațional, național și individual pot fi ghidate de ideea de sustenabilitate [4].

După cum este prezentat în Figura 1, pilonii de mediu, cel economic și cel social sunt utilizați pentru a descrie sustenabilitatea. Există numeroase probleme asociate cu sustenabilitatea mediului, de la poluare la gestionarea resurselor naturale. Principalul obiectiv al sustenabilității mediului este reducerea impactului activităților umane asupra mediului, încurajând în același timp restaurarea și conservarea habitatului nostru natural. Protecția mediului este frecvent primul lucru care vine în minte atunci când se ia în considerare sustenabilitatea. Cu toate acestea, conceptul de durabilitate cuprinde și durabilitatea socială și economică [5].

Sustenabilitatea economică se referă la capacitatea unei economii de a susține un anumit nivel de producție economică pe termen nelimitat. Aceasta implică realizarea unui echilibru între expansiunea economică și obținerea de profituri, și efectele asupra oamenilor și mediului. [6]. Pilonul social al sustenabilității se referă la valorile care promovează egalitatea și drepturile individuale. Pentru a asigura durabilitatea socială, trebuie identificate și gestionate efectele atât pozitive, cât și negative asupra oamenilor [7].

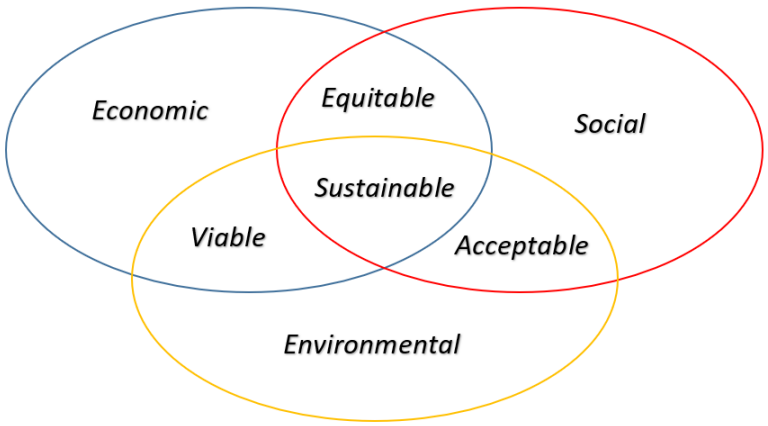


Figura 1: Cei trei piloni ai sustenabilității.

Obiectivele globale, denumite și Obiectivele de Dezvoltare Durabilă (ODD), au fost stabilite de Organizația Națiunilor Unite (ONU) în 2015 ca o componentă a Agendei 2030 pentru dezvoltare durabilă. Din cauza schimbărilor climatice, această agendă urmărește reducerea sărăciei, a problemelor de sănătate, a analfabetismului și a creșterii economice lente. ODD sunt un „plan pentru a obține un viitor mai bun și mai durabil pentru toți" și includ 169 de ținte, pe lângă cele 17 obiective

pentru a aborda aceste probleme (Figura 2). În următorii 15 ani, ODD-urile vor ghida planurile naționale de dezvoltare [8].



Figura 3: Obiectivele de Dezvoltare Durabilă (ODD).

Deoarece ODD sunt interconectate, multe sectoare și industrii au un impact asupra unei varietăți de aspecte legate de ODD, inclusiv agricultura, care este esențială pentru atingerea ODD până în 2030, așa cum a fost stabilită de ONU. Agricultura este un punct focal pentru multe dintre Obiectivele de Dezvoltare Durabilă [9]. ODD nr. 2, care se referă la producția de alimente, solicită „eliminarea foametei, asigurarea securității alimentare și a unei nutriții îmbunătățite și promovarea unei agriculturi durabile". Cu toate acestea, fără un sector agricol de succes și sustenabil, alte ODD nu pot fi atinse. De exemplu, producția de alimente este indisolubil legată de alte provocări ale ODD, inclusiv asigurarea accesului la apă curată și salubritate (ODD nr. 6), asigurarea accesului la energie curată și la prețuri accesibile (ODD nr. 7), promovarea ocupării decente a forței de muncă și a creșterii economice (ODD nr. 8) și promovarea consumului și a producției responsabile (ODD nr. 12). Agricultura afectează în mod indirect ODD privind viața pe pământ (ODD nr. 15), egalitatea de gen (ODD nr. 5), acțiunile climatice (ODD nr. 13) și sărăcia (ODD nr. 1). Alimentația și agricultura sunt esențiale pentru Agenda 2030, de la eradicarea sărăciei și a foametei până la combaterea schimbărilor climatice și conservarea resurselor naturale [8, 10].

Probleme legate de agricultură și durabilitate

Agricultura se confruntă cu numeroase provocări în secolul al XXI-lea. Principalele preocupări legate de durabilitate pe care industria alimentară și agricolă trebuie să le abordeze sunt foametea în țările în curs de dezvoltare, obezitatea în țările dezvoltate, creșterea prețurilor la alimente, schimbările climatice persistente, creșterea necesarului și utilizării combustibililor și a costurilor de transport, deficiențele de pe piața globală, poluarea globală cu pesticide, adaptarea și rezistența la dăunători, pierderea fertilității solului și a carbonului organic, eroziunea solului, scăderea biodiversității și deșertificarea [11, 12].

Agricultura durabilă este o opțiune viabilă pentru abordarea problemelor fundamentale și aplicate ale producției alimentare într-un mod responsabil din punct de vedere ecologic, economic și social.

Aceasta presupune crearea și punerea în practică a unor practici de gestionare care să sprijine procesele organice pentru a conserva toate resursele, a reduce risipa și a proteja mediul înconjurător, păstrând sau sporind în același timp rentabilitatea fermei. Este esențial să se lucreze cu procesele naturale ale solului [13, 14]. În plus, în întreprinderile agricole care includ animale trebuie să se abordeze și preocupările legate de bunăstarea animalelor [1].

Ritmul actual de creștere a producției agricole este nesustenabil din cauza efectelor dăunătoare asupra resurselor naturale și a mediului. Până la 75% din diversitatea genetică a culturilor a fost pierdută, o treime din terenurile agricole au fost degradate, iar 22% din rasele de animale sunt pe cale de dispariție. Treisprezece milioane de hectare de pădure se pierd în fiecare an în favoarea altor categorii de utilizare a terenurilor, iar mai mult de jumătate din stocurile de pește sunt folosite în totalitate. Problemele principale sunt reprezentate de lipsa tot mai mare și epuizarea rapidă a resurselor naturale, în condițiile în care cererea de produse și servicii agricole, cum ar fi produsele alimentare și furajele, crește rapid. Se preconizează că zonele cu cele mai mari rate de insecuritate alimentară și dependență agricolă vor înregistra cea mai rapidă creștere demografică [15].

În sistemele de agricultură durabilă, fluxurile de energie din sol deja existente, ciclurile de nutrienți și de apă, organismele benefice din sol și controlul natural al dăunătorilor sunt toate utilizate pe deplin [13]. Agricultura este atât un contribuitor semnificativ, cât și unul dintre cele mai vulnerabile sectoare economice la schimbările climatice. Emisiile de gaze cu efect de seră provenite din agricultură se produc atât în cadrul fermei, cât și la granița dintre ecosistemele naturale și terenurile agricole. Acestea reprezintă aproximativ 20% din toate emisiile cauzate de om [16].

După cum se prezintă în Figura 3, ca urmare a unui echilibru între creșterea emisiilor de la poarta fermei și scăderea emisiilor din schimbarea utilizării terenurilor, emisiile agricole la nivel mondial (inclusiv cele provenite din procesele de la poarta fermei și din schimbarea utilizării terenurilor) s-au apropiat de 11 miliarde de tone de echivalent CO_2 (CO_2 eq.) în 2019 [16]. Numai emisiile de GES legate de culturi și de animale contribuie la aproximativ 5 miliarde de tone de CO_2 eq. în atmosferă în fiecare an [17].

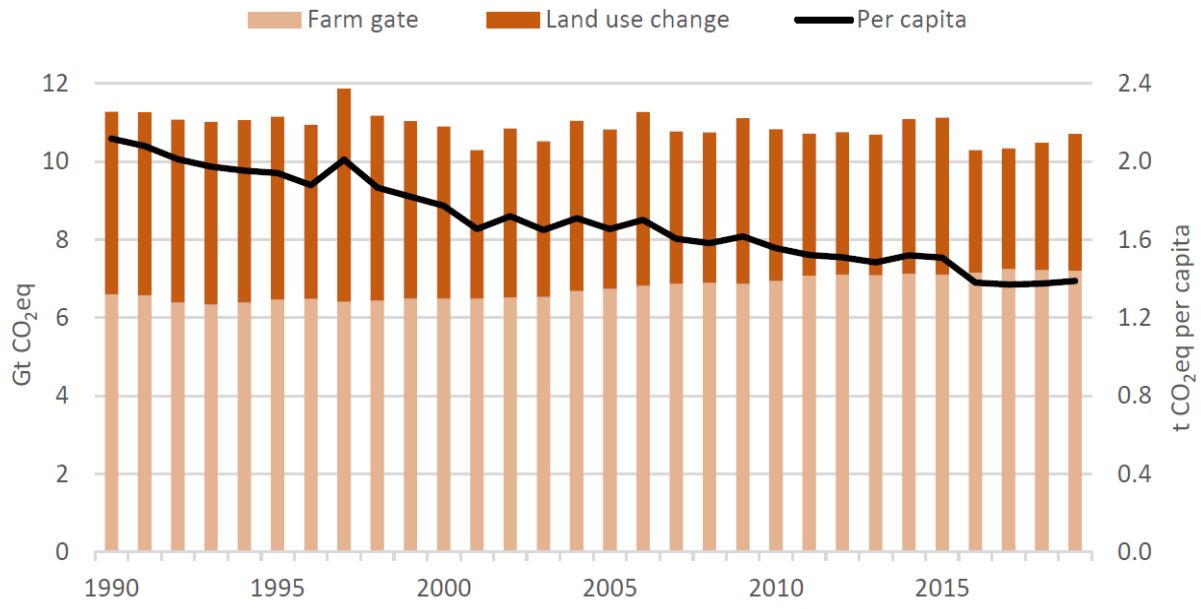


Figura3: Emisiile globale absolute și pe cap de locuitor ale agriculturii din 1990 până în 2019, cu modificări la nivelul fermei și al utilizării terenurilor [16].

Asia a avut cele mai mari emisii absolute (4 miliarde de tone) în 2019, în timp ce Oceania și America Latină au avut cele mai mari emisii pe cap de locuitor (4-6 tone pe cap de locuitor). Africa a avut cea mai mare creștere (30%) din 1990, în timp ce America Latină a înregistrat cea mai mare reducere (20%). Mai mult de jumătate din emisiile agricole la nivel mondial au fost reprezentate de Brazilia, Indonezia și China. În Brazilia și Indonezia, defrișările și, respectiv, emisiile cauzate de incendiile de turbă au dominat emisiile agricole naționale, dar în China emisiile de la poarta fermei au fost cele care au contribuit cel mai mult [16].

În cadrul emisiilor de la poarta fermei, emisiile de metan, de protoxid de azot și de CO_2 au contribuit cu peste 7 miliarde de tone de CO_2 echivalent (eq.) în 2019, ceea ce reprezintă o creștere cu 9% față de 1990. Animalele au reprezentat două treimi din emisiile de metan și de oxid de azot. Schimbarea utilizării terenurilor a contribuit cu 3,5 miliarde de tone de CO_2 eq., majoritatea provenind din pierderile de carbon din despăduriri și incendii de turbării. Din 1990, prima emisiile din prima categorie au scăzut cu aproximativ 30%, în timp ce cele din cea de-a doua au crescut cu aproape 60% [16].

Agricultura sustenabilă și energia

Sistemele energetice și alimentare trebuie transformate pentru a satisface cererea în creștere la nivel mondial, pentru a le face mai incluzive, mai sigure și mai durabile și pentru a respecta Acordul de la Paris privind clima și Agenda 2030 pentru dezvoltare durabilă. Sistemele de aprovizionare cu alimente și energie au un impact semnificativ asupra mediului, a economiilor și a societății în ansamblu, ceea ce le face esențiale pentru atingerea multor ODD [18].

Actuala utilizare a energiei în sistemul alimentar este nesustenabilă. Din cauza lipsei de energie accesibilă, fiabilă și durabilă pentru milioane de oameni și pentru întreprinderile agroalimentare mici și mijlocii, există pierderi semnificative de alimente în etapele de după recoltare. Înainte ca acestea să ajungă pe piață, aproximativ 14% din alimentele produse la nivel mondial se pierd [19]. Pierderile de alimente sunt abordate de-a lungul întregului lanț de aprovizionare, deoarece reducerea pierderilor duce la o cerere mai mică de terenuri, apă și energie, precum și la emisii mai mici [20]. În 2019, peste 2,6 miliarde de persoane au plătit o sumă disproporționată de bani pentru a trăi fără acces la combustibili și tehnologii de gătit curate [18].

O treime din cererea finală totală de energie la nivel mondial este reprezentată de sistemele agricole și alimentare, cea mai mare parte implicată în procesele post-recoltare și sub formă de combustibili fosili [21]. La un moment dat, de-a lungul lanțului valoric, pierderile de alimente duc la pierderea a aproximativ 30% din această energie [18].

Toate fazele de producție, prelucrare și distribuție a alimentelor până la consumul final sunt incluse în lanțurile de aprovizionare agroalimentară [12]. În sistemul agroalimentar global, agricultura este principala sursă de emisii de gaze cu efect de seră. Între 10% și 15% din emisiile de gaze cu efect de seră la nivel mondial sunt direct atribuite agriculturii. Cu până la 30% mai multe emisii rezultă din schimbările categoriilor de utilizare a terenurilor și a defrișărilor către producția de hrană pentru animale. Metanul și protoxidul de azot, care împreună reprezintă aproximativ 22% din emisiile globale, sunt, de asemenea, produse în principal de agricultură [22].

Energia poate contribui la o agricultură durabile. Acest lucru poate fi realizat prin încorporarea tehnologiilor energetice eficiente și a energiei regenerabile în sistemele agricole; utilizarea deșeurilor din industria agroalimentară pentru a genera energie regenerabilă, reducerea emisiilor de GES legate de deșeuri și captarea carbonului în soluri și în culturile energetice cu ajutorul biofertilizatorilor produși din biomasă. Existența unei cantități suficiente de energie în lanțurile alimentare ar putea contribui la adaptarea la schimbările climatice prin creșterea rezilienței la schimbarea tiparelor meteorologice și,

eventual, la creșterea veniturilor, prin diversificarea produselor și serviciilor, activități cu valoare adăugată și crearea de locuri de muncă la nivel local [18].

Bibliografie

1. FAWC, *Sustainable agriculture and farm animal welfare, Farm Animal Welfare Committee* 2016: London, UK.
2. HLPE, *Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.* 2014.
3. Pretty, J.N., J. Thompson, F. Hinchcliffe, *Sustainable agriculture: impacts on food production and food security.* International Institute for Environment, Development. Gatekeeper Series, 1996(60).
4. Perdan, S., *The Concept of Sustainable development and its Practical Implications.* , in *Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists. 2nd. ed. John Wiley & Sons Ltd, 2011. pp. 3-25*, A. Azapagic, Editor. 2011.
5. Heinberg, R. and D. Lerch, *What is sustainability?* The post carbon reader, 2010. **11**: p. 19.
6. Goniadis, G. and M. Lampridi, *Introduction to Sustainable Development*, ed. N. Moussiopoulos. 2015: International Hellenic University.
7. Purvis, B., Y. Mao, and D. Robinson, *Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins.* Sustainability Science, 2019. **14**(3): p. 681-695.
8. UN. *Sustainable Development Goals, United Nations*. 2022 13/10/2022]; Available from: https://unstats.un.org/sdgs/.
9. UN, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, United Nations, A/RES/70/1, 2015*. 2015.
10. Nhemachena, C., et al., *Measuring Baseline Agriculture-Related Sustainable Development Goals Index for Southern Africa.* 2018. **10**(3): p. 849.
11. Lichtfouse, E., et al., *Agronomy for sustainable agriculture. A review.* Agronomy for Sustainable Development, 2009. **29**(1): p. 1-6.
12. Gorjian, S., et al., *Sustainable Food and Agriculture: Employment of Renewable Energy Technologies.* Current Robotics Reports, 2022. **3**(3): p. 153-163.
13. Chel, K., *Renewable energy for sustainable agriculture.* Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 10.1051/agro/2010029 . hal00930477, 2011. **31**(1): p. 91-118.
14. UNDP, *Sustainable Agriculture*, in *The International Guidebook of Environmental Finance Tools, United Nations Development Programme (UNDP)*. 2012, United Nations
15. FAO. *Sustainable Agriculture*. 2021 09/10/2022]; Available from: https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-the-2030-agenda-for-sustainable-development/sustainable-agriculture/en/.
16. FAO, *Emissions from agriculture and forest land. Global, regional and country trends 1990–2019. FAOSTAT Analytical Brief Series No 25. Rome.* 2021.
17. Tubiello, F., *Greenhouse Gas Emissions Due to Agriculture*. 2019.
18. FAO and IRENA, *Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris Agreement.* Abu Dhabi and Rome. https://doi.org/10.4060/cb7433en, 2021.
19. FAO, *Food loss and waste must be reduced for greater food security and environmental sustainability, Food and Agriculture Organization, Rome, www.fao.org/news/story/en/item/1310271/icode/.* 2020.
20. FAO, *"Energy-Smart" Food for People and Climate Issue Paper, Food and Agriculture Organization, Rome.* 2011.
21. FAO, *Energy, agriculture and climate change towards energy-smart agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations.* 2016.
22. Andreas Gattinger, J.J., Adrian Muller, Friedhelm Göltenboth and Jørgen Olesen, *Mitigating Greenhouse Gases in Agriculture A challenge and opportunity for agricultural policies*. 2011: Stuttgart.

Utilizarea energiei în sectorul agricol

În multe țări, agricultura este cel mai important sector economic. Energia a fost întotdeauna necesară pentru creșterea producția agricolă și obținerea unei valori adăugate. În agricultură se utilizează pe scară largă energia umană, animală și mecanică [1]. Modernizarea multor activități de producție agricolă crește consumul de energie mecanică. Sectorul agricol, ca și alte sectoare, a devenit dependent de surse de energie, ca petrolul și electricitatea, ca urmare a schimbărilor din sectorul agricol [2].

Eficiența energetică este necesară pentru a susține producția agricolă pentru a realiza economii, a conserva resursele fosile și a reduce poluarea aerului. În plus, deoarece terenurile agricole sunt limitate, singura modalitate prin care producătorii pot crește producția totală este utilizarea mai multor factori de producție. Având în vedere dependența sectorului agricol de energie pentru a hrăni o populație în creștere, precum și impactul utilizării energiei asupra mediului și sănătății umane și resursele naturale limitate, este esențial să se investigheze utilizarea energiei și eficiența energetică în sectorul agricol [2,3].

Utilizarea energiei în agricultură

Prin procesul de fotosinteză, agricultura transformă energia solară în energie alimentară pentru oameni și furaje pentru animale. Practici agricole simple, cum ar fi împrăștierea semințelor pe sol și acceptarea recoltelor modeste care rezultau, constituiau agricultura primitivă. Astăzi, practicile agricole moderne (intensive), în care se folosesc diverse metode pentru a obține randamente ridicate, au înlocuit în mare măsură agricultura primitivă [4]. Ca rezultat al implementării proceselor moderne de producție agricolă, s-a realizat o trecere de la forța umană sau animală, utilizate pe scară largă în procesele de producție agricolă, la energia mecanică bazată pe folosirea combustibililor [5].

Energia a fost întotdeauna crucială pentru producția agricolă și dezvoltarea rurală. De la ferme organice mici la ferme industriale mari, agricultura folosește multă energie [6]. Astăzi, utilizarea energiei în procesele de producție a culturilor și creșterea animalelor în sectorul agricol este clasificată în două categorii: directă și indirectă [7].

Utilizarea directă a energiei în agricultură: fraza „energia direct utilizată în agricultură” se referă la energia utilizată direct în operațiunile agricole, cum ar fi recoltarea, irigarea, uscarea, depozitarea, încălzirea serelor și comercializarea, precum și în infrastructură, utilaje agricole, tractoare și camioane [7]. În producția animală, electricitatea, biomasa, cărbunele și gazele naturale sunt folosite pentru activități precum prepararea-distribuirea furajelor, curățarea gunoiului de grajd, mulsul, iluminatul, încălzirea, ventilarea și răcirea clădirilor agricole, cum ar fi adăposturile pentru animale [8].

Utilizarea indirectă a energiei în agricultură: fraza „energia indirect utilizată în agricultură” se referă la energia utilizată în producția de îngrășăminte minerale și pesticide chimice, insecticide, erbicide și alte substanțe chimice agricole, precum și substanțele chimice utilizate în procesarea acestora [7]. Energia indirectă, așa cum sugerează și numele, nu este utilizată direct pe fermă. Aceste intrări de energie se regăsesc de obicei în sectorul industrial [8].

Agricultura de astăzi utilizează frecvent un sistem intensiv din cauza creșterii populației și a cererii ridicate de alimente. Având în vedere rotația rapidă a culturilor pe câmp și utilizarea ridicată a inputurilor, agricultura intensivă necesită ca un fermier să investească resurse financiare și cunoștințe semnificative în gestionarea terenului și a culturilor [5]. După cum se arată în Figura 1, agricultura modernă necesită utilizarea energiei în toate etapele de producție, inclusiv utilizarea energiei de către utilaje agricole, gestionarea apei, irigare, însămânțare și recoltare. Energia este utilizată în etapele de producție agricolă, cum ar fi lucrările agricole, producția de îngrășăminte, transportul și procesarea.

Agricultura include cultivarea și recoltarea culturilor, precum și îngrijirea și sacrificarea animalelor. Transportul este procesul de transportare a produselor agricole către următoarea etapă de producție, utilizând orice mijloc de transport. Alimentele care nu pot fi consumate imediat după ce părăsesc ferma trebuie procesate. Utilizarea energiei post-recoltare include energia utilizată pentru procesarea alimentelor, depozitare și transportul către piețe. În plus, multe inputuri energetice, cum ar fi îngrășămintele minerale și pesticidele chimice, sunt utilizate în agricultură [9-11].

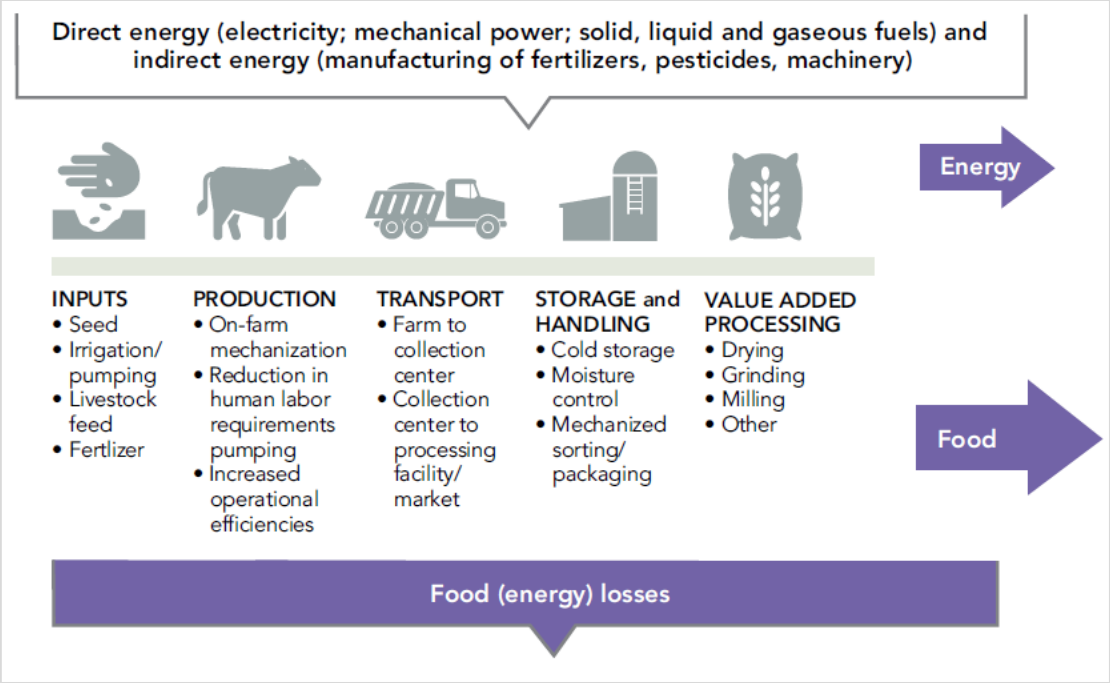


Figura 1: Energia și agricultura, adaptare după [12].

Agricultura, care include cultivarea plantelor și creșterea animalelor, este una dintre cele mai intensive etape energetice ale lanțului alimentar, reprezentând aproximativ o treime din energia totală consumată în lanțul de producție alimentară [3]. Operațiunile de arat, prima etapă a producției agricole, sunt de obicei realizate utilizând cele mai intensive operațiuni energetice [13].

Uscarea și depozitarea culturilor este, de asemenea, o etapă majoră în utilizarea combustibilului. Pentru fiecare hectar de cultură recoltată/uscată, un uscător de înaltă temperatură consumă 55 de litri de păcură. Pentru a reduce umiditatea de la 20% la 15%, aproximativ șase litri de combustibil (motorină) sunt necesari pentru fiecare tonă de cultură care trebuie uscată [14].

În zilele noastre, majoritatea sistemelor de irigație consumă cantități mari de energie. Consumul de energie al sistemului de irigație este văzut în principal ca o provocare tehnică cu scopul de a îmbunătăți performanța [15]. Majoritatea fermelor folosesc fântâni și surse de apă subterane pentru a pompa apă, deși unele au acces la surse publice de apă. Majoritatea pompelor utilizează electricitate, dar locațiile îndepărtate pot avea, de asemenea, pompe pe motorină sau propan [16, 17].

Energia consumată în operațiunile zootehnice este aproape în întregime energie directă și este relativ scăzută în comparație cu operațiunile de cultură, atât ca procent din cheltuielile totale de operare, cât și în termeni de consum total de energie. Energia este consumată direct de întreprinderile zootehnice pentru sisteme de ventilație, refrigerare, iluminat, încălzire, irigație, motoare și gestionarea deșeurilor, în timp ce fermele agricole folosesc energie pentru însămânțare, recoltare, irigație și uscare [16].

Energia reprezintă o parte semnificativă a cheltuielilor de operare pentru majoritatea culturilor, în special când se iau în considerare cheltuielile indirecte cu îngrășămintele, deoarece producția de

îngrășăminte este extrem de intensivă energetic, necesitând cantități mari de gaz natural. Cheltuielile cu energia și îngrășămintele reprezintă mai mult de jumătate din cheltuielile totale de operare pentru unele culturi, cum ar fi ovăzul, porumbul, grâul și orzul.

Tabelul 1: Utilizarea energiei în producția agricolă [19].

Utilizarea directă a energiei	**Combustibil**
Operarea utilajelor agricole și a camioanelor mari: Lucrări de câmp (tractoare, combine, cositoare, etc.) Achiziționarea și livrarea inputurilor (camioane mari)	Motorină
Operarea vehiculelor mici (mașini și camionete): - Activități de gestionare a fermei	Benzină
Operarea echipamentelor mici: - Echipamente de irigație Uscarea cerealelor sau fructelor Decorticarea bumbacului Uscarea tutunului Încălzire pentru protecția împotriva înghețului în livezi și plantații Flamboaie pentru culturi Încălzirea/răcirea grajdului pentru vite, cotețului pentru porci sau păsări, serelor, rezervoarelor pentru animale etc. Tratarea deșeurilor animale Generatoare de rezervă	Motorină Gaze naturale GPL Electricitate
Cheltuieli generale ale fermei Iluminatul locuințelor, șoproanelor și hambarelor Energie pentru aparatele electrocasnice din fermă	Electricitate
Operațiuni personalizate Lucrări de câmp (de exemplu, recoltarea) Uscarea Altele	Motorină Benzină Gaz natural, GPL Electricitate
Marketing Transport: de la ascensor la terminal, procesator sau port Elevare	Motorină Benzină
Utilizarea indirectă a energiei	**Combustibilul**
Fertilizatori	Gaze naturale
Pesticide (insecticide, erbicid, fungicid)	Petrol, Gaze naturale

Raportul dintre consumul de energie directă și cea indirectă variază în funcție de cultură [16, 18]. Informații detaliate despre utilizarea energiei în agricultură sunt prezentate în Tabelul 1.

Utilizarea energiei în agricultura Uniunii Europene

În 2020, consumul direct de energie al Uniunii Europene a fost de 886 de milioane de tone echivalent petrol (tep), incluzând utilizarea directă a petrolului și produselor petroliere, electricitatea, gazele naturale, sursele regenerabile și combustibilii fosili solizi. Agricultura și silvicultura au consumat 3,2% din totalul de energie directă în UE în 2020 [20]. După cum este prezentat în Tabelul 2, Țările de Jos au avut cea mai mare proporție din totalul consumului direct de energie în sectorul agricol și forestier; cota de 9,0% arată importanța producției de plante horticole, fructe și legume în sere. De asemenea, procente semnificative au avut Letonia (5,4%) și Polonia (5,5%) [20].

Tabelul 2: Consumul de energie directă în Uniunea Europeană [20].

	Consumul direct de energie de către agricultură și silvicultură *(1000 tone)*			**Consumul total direct de energie** *(1000 tone)*			**Procentul din consumul total direct de energie atribuit agriculturii și silviculturii** *(%)*		
	2018	**2019**	**2020**	**2018**	**2019**	**2020**	**2018**	**2019**	**2020**
EU	**27 515**	**27 842**	**28 008**	**926 013**	**937 857**	**885 764**	**3,0**	**3,0**	**3,2**
Belgia	800	902	806	33 636	32 580	31 039	2,4	2,8	2,6
Bulgaria	185	187	188	8 595	9 707	9 513	2,2	1,9	2,0
Cehia	620	635	638	23 991	24 222	23 753	2,6	2,6	2,7
Danemarca	596	581	568	14 017	13 547	13 131	4,2	4,3	4,3
Germania	3 302	3 573	3 626	207 170	200 804	193 617	1,6	1,8	1,9
Estonia	124	113	109	2 408	2 823	2 727	5,2	4,0	4,0
Irlanda	223	222	222	10 188	11 317	10 840	2,2	2,0	2,0
Grecia	264	277	277	17 914	15 401	14 483	1,5	1,8	1,9
Spania	2 457	2 604	2 715	76 338	81 514	72 323	3,2	3,2	3,8
Franța	4 085	4 037	4 170	145 126	139 131	128 169	2,8	2,9	3,3
Croația	218	221	234	5 937	6 726	6 432	3,7	3,3	3,6
Italia	2 798	2 719	2 759	119 742	113 119	103 057	2,3	2,4	2,7
Cipru	42	43	45	1 367	1 627	1 529	3,1	2,6	2,9
Letonia	181	202	205	3 228	3 925	3 798	5,6	5,1	5,4
Lituania	108	111	114	3 742	5 460	5 284	2,9	2,0	2,2
Luxembourg	27	24	24	3 185	3 790	3 265	0,8	0,6	0,7
Ungaria	647	673	703	15 642	17 970	17 602	4,1	3,7	4,0
Malta	5	6	7	319	544	500	1,6	1,2	1,4
Olanda	3 934	3 927	3 818	47 520	44 317	42 262	8,3	8,9	9,0
Austria	530	521	511	21 810	26 228	24 817	2,4	2,0	2,1
Polonia	3 919	3 813	3 868	53 561	71 891	70 251	7,3	5,3	5,5
Portugalia	384	380	411	17 214	16 356	15 215	2,2	2,3	2,7
România	566	557	531	21 947	23 713	23 472	2,6	2,3	2,3
Slovenia	75	73	72	4 542	4 863	4 429	1,6	1,5	1,6
Slovacia	133	129	132	9 925	10 248	9 611	1,3	1,3	1,4
Finlanda	689	684	666	23 282	24 729	23 191	3,0	2,8	2,9
Suedia	604	624	589	33 667	31 305	31 454	1,8	2,0	1,9

În UE, produsele petroliere și petrolul au reprezentat majoritatea (56,0%) din totalul consumului direct de energie în sectorul agricol și forestier în 2020, excluzând biocombustibilii. Aceasta a fost o cotă semnificativ mai mare decât în întreaga economie (35,0%) [20]. După cum este prezentat în Figura 2, produsele petroliere și petrolul au fost cele mai utilizate tipuri de combustibili în sectoarele agricol și forestier din UE. Cu toate acestea, au existat câteva excepții semnificative. În Țările de Jos, consumul

direct de energie din produse petroliere și petrol a reprezentat doar 10,6% din consumul direct total al industriei agricole și forestiere în 2020, gazele naturale reprezentând majoritatea (53,5%) și electricitatea reprezentând o pătrime (24,3%). În Grecia, electricitatea a reprezentat aproape trei sferturi (74,0%) din totalul consumului direct de energie de către sectoarele agricole și forestiere. Sursele regenerabile și biocombustibilii au contribuit la aproximativ o treime (37,1% și 31,1%, respectiv) din totalul consumului direct de energie în Suedia și Austria [20, 21].

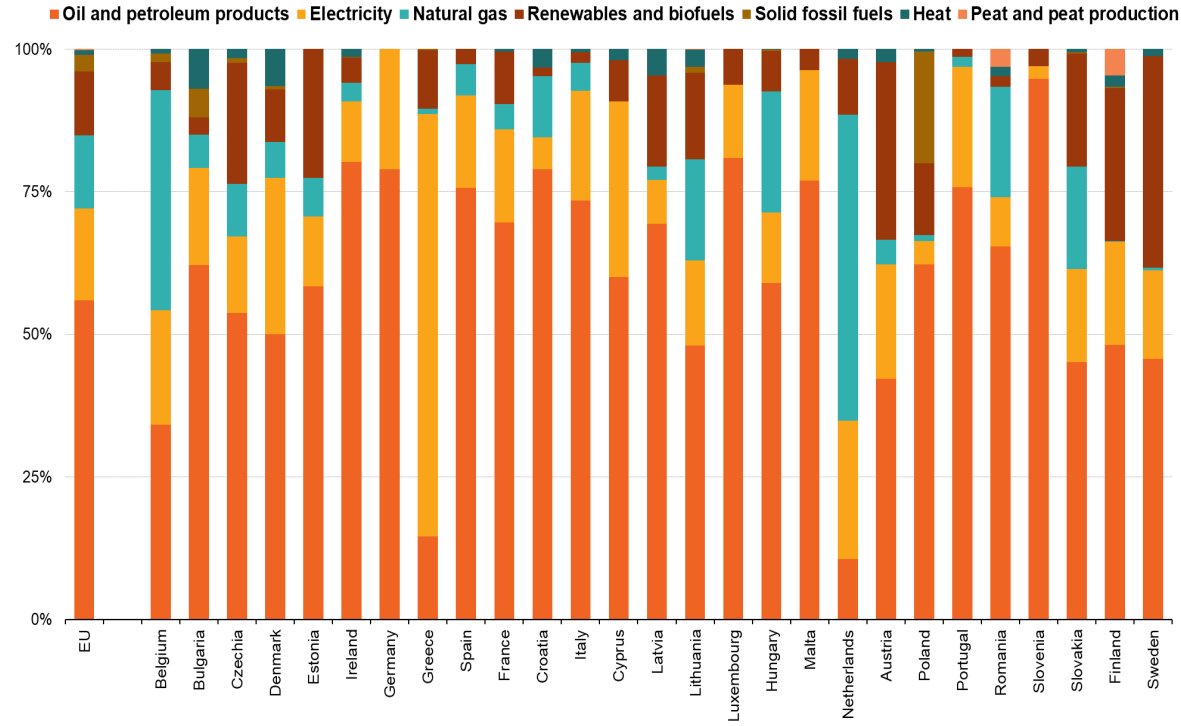


Figura 2: Distribuția tipului de combustibil în consumul de energie de către agricultură și silvicultură în 2020 [20].

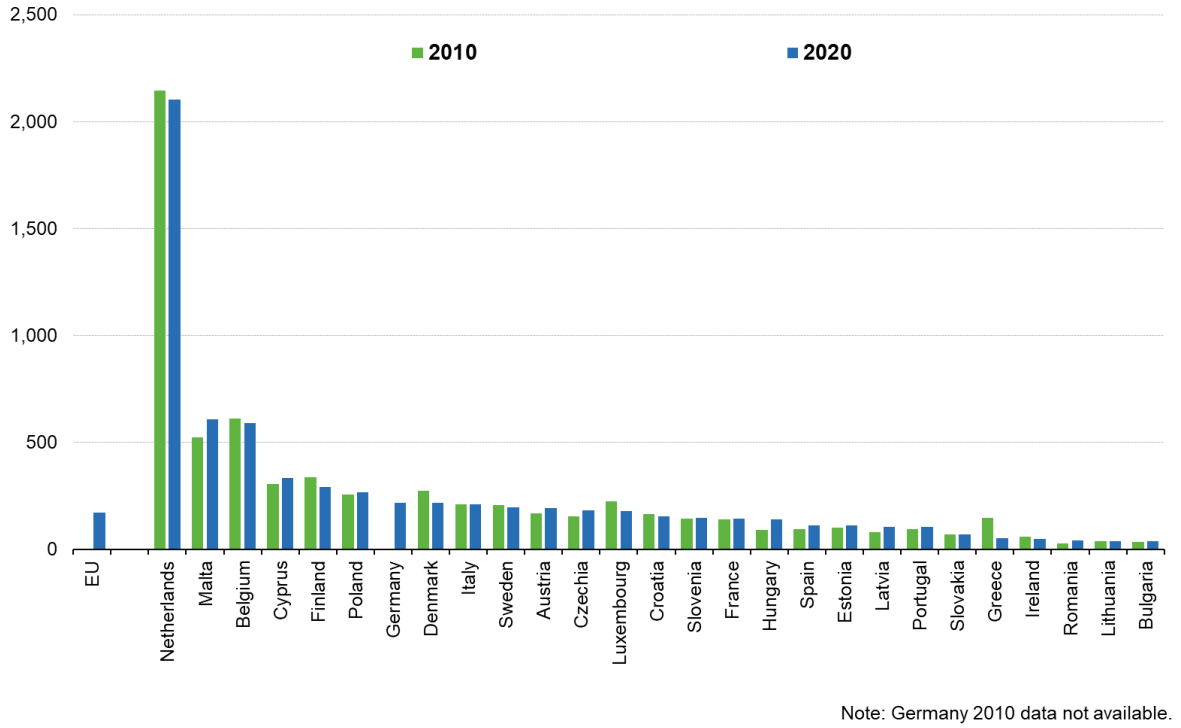


Figura 3: Consumul de energie de către sectorul agricol în anii 2010 și 2020 (kilograme de echivalent petrol per hectar de UAA) [20].

Deoarece țările variază ca dimensiune, este imposibil să comparăm consumul total de energie direct între ele. Este necesar să se desemneze un numitor comun pentru a compara tendințele între națiuni. În mod ideal, indicatorul și numitorul ar trebui să fie puternic corelați. Suprafața agricolă utilizabilă este un numitor comun pentru a evalua parametrii agro-ambientali între națiuni (UAA). După cum este arătat în Figura 3, consumul mediu de energie directă al sectorului agricol și forestier al UE a fost de 173 de kilograme de echivalent petrol per hectar (kgoe/ha) în 2020 [20].

Producția pe scară largă de fructe, legume și plante în sere în Țările de Jos contribuie la explicarea consumului mediu de energie directă pe hectar de UAA în 2020 (2 104 kgoe/ha), substanțial mai mare decât în alte țări europene. Între 2000 și 2020, consumul aparent de energie per hectar de UAA a scăzut cel mai dramatic în Grecia (-64,2%), dar a crescut cel mai abrupt în Ungaria (+54,2%) [20].

Bibliografie

1. Ozkan, B., Akcaoz, H., Fert, C. (2004). *Energy input–output analysis in Turkish agriculture.* Renewable Energy, **29**(1): p. 39-51.
2. Bekhet, H.A., Abdullah, A.J.I.B.R. (2010) *Energy use in agriculture sector: input-output analysis.* **3**(3): p. 111.
3. Fabio Monforti-Ferrario, J.-F.D., Pinedo Pascua, I., Motola, V., Banja, M., Scarlat, N., Medarac, H., Castellazzi, L., Labanca, N., Bertoldi, P., Pennington, D., Goralczyk, M., Schau, E.M., Saouter, E., Sala, S., Notarnicola, G.T.B., RFenzulli, P. (2015) *Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement, European Commission EUR 27247 EN – Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport and Institute for Environment and Sustainability*, a.M.-F.a.I.P. Pascua, Editor.: Luxembourg: Publications Office of the European Union.
4. Finan, T. (2019) *Intensive Agriculture.* Portuguese agriculture in transition: p. 141.
5. Sial, A., et al. (2021) *Intensive Farming: It's Effect on the Environment.* **12**: p. 37480-37487.
6. Raser, G., Silecchia, M. (2020) *Energy Use in U.S. Agriculture: An Overview*, Institute for Energy and the Environment, : Vermont Law School.
7. Schnepf, R. (2004) *Energy Use in Agriculture: Background and Issues*.
8. Beyaz, A., et al. (2017) *Tarımsal Üretimde Enerji Verimliliğinin Planlanması ve Sağlanması*.
9. FAO, *Chapter 2: Energy for Agriculture, The Food and Agriculture Organization (FAO)* in *The ninth session of the United Nations Commission on Sustainable Development (CSD-9)*, G. Best, Editor. 2011.
10. Rokicki, T.(2021) *Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries.* **14**(6): p. 1570.
11. Silecchia, G.R.A.M. (2020) *Energy Use In U.S. Agriculture: An Overview*.; Available from: https://farmandenergyinitiative.org/wp-content/uploads/2020/08/Energy-Use-in-Agriculture.pdf.
12. Olivier Dubois, A.F., Kojakovic, A., Irini Maltsoglou, M.P., Rincon, L. (2017) *Energy Access Food and Agriculture*, in *International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK, Food and Agriculture Organization of the United Nations*: Washington.
13. Forgó, Z., et al. (2021) *Energy Consumption Evaluation of Active Tillage Machines Using Dynamic Modelling*. **11**(14): p. 6240.
14. Caslin, B., Forristal, D. (2016) *Energy Use On Tillage Farms, Energy Fact Sheet No: 1.*
15. Daudin, K., et al. (2020) *Energy consumption of irrigation systems: a functional perspective*.
16. Hicks, S. (2014) *Energy for growing and harvesting crops is a large component of farm operating costs, The U.S. Energy Information Administration (EIA)* in *Today in Energy*.
17. Kalinichenko, A., Kostenko, O. (2019) *Alternative Ways of Energy Supply in Rural Areas.* Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie. **35**: p. 52-68.
18. IFA and UNEP, *Industry as a partner for sustainable development, Fertilizer Industry.* The International Fertilizer Industry Association and United Nations Environment Programme, 2002.
19. Schnepf, R., *Energy Use in Agriculture: Background and Issues.* CRS Report for Congress, 2004.
20. EUROSTAT, *Agri-environmental indicator - energy use.* 2022.
21. Zhu, N., et al. (2023) *Energy-sustainable agriculture in the European Union member states: Overall productivity growth and structural efficiency.* Socio-Economic Planning Sciences: p. 101520.

Producerea de energie în sectorul agricol: bioenergie

Agricultura și energia au o relație specială deoarece agricultura reprezintă atât producție de energie, cât și consum de energie. Fotosinteza este procesul prin care plantele absorb energia solară și o transformă în propria lor biomasă. Biomasa poate fi arsă direct sau transformată în biocombustibili lichizi sau poate produce biogaz. Pe de altă parte, agricultura necesită inputuri de energie în toate etapele producției, inclusiv utilizarea directă a energiei în mașini agricole, gestionarea apei, irigații, plantare și recoltare. Utilizarea energiei pentru procesarea alimentelor, depozitare și transportul către piețe este inclusă în consumul de energie post-recoltă. În plus, multe intrări de energie indirectă sunt utilizate în agricultură sub formă de îngrășăminte și pesticide [1].

În concordanță cu creșterea conștientizării producției agricole, energia biomasei este una dintre sursele de energie regenerabilă care câștigă popularitate și finanțare în fiecare an. Această energie este o sursă crucială de energie regenerabilă care poate satisface în mod durabil cererea tot mai mare de energie generată de industrializare și creșterea rapidă a populației [2]. Această energie poate reduce dependența de rețelele electrice suprasolicitate și poate înlocui combustibilii costisitori utilizați în industria locală. Biomasa poate genera toate formele de energie, inclusiv electricitatea, gazul, combustibilii lichizi și căldura, iar utilizarea sa poate furniza locuri de muncă în zonele rurale, poate preveni migrația către orașe, poate crește rentabilitatea agriculturii și poate contribui la refacerea terenurilor degradate. Această energie este, de asemenea, benefică în lupta împotriva încălzirii globale [3, 4].

Biomasa

Biomasa este o sursă importantă de energie care poate satisface cererea tot mai mare de energie cauzată de creșterea populației și de industrializare [5]. Biomasa este definită de către Directiva 2009/28/CE ca fiind "fracția biodegradabilă a produselor, deșeurilor și reziduurilor de origine biologică din agricultură (inclusiv substanțe vegetale și animale), silvicultură și industriile conexe, inclusiv pescuit și acvacultură, precum și fracția biodegradabilă a deșeurilor industriale și municipale" [6].

Biomasa reprezintă o sursă de energie chimică provenită de la soare. Lumina solară este folosită de organisme cum ar fi plantele și algele care folosesc procesele fotosintetice pentru a produce glucoză din dioxid de carbon și apă. Acest proces, cunoscut sub numele de fotosinteză, transformă energia solară în energie chimică legată și rezultă în producerea de biomasă. O sursă de energie durabilă este biomasa. Biomasa este produsă de plante prin fotosinteză [7].

Biomasa este definită ca fiind reprezentată de organisme vii sau recent decedate, precum și produsele lor derivate vegetale sau animale. Termenul este înțeles pe scară largă pentru a exclude cărbunele, petrolul și alte rămășițe fosilizate ale organismelor, precum și solul. În acest sens strict, biomasa include toate ființele vii. Cu toate acestea, în contextul energiei obținute din biomasă, termenul se referă la culturi, reziduuri și alte materiale biologice care pot înlocui combustibilii fosili în producția de energie și alte produse. Biomasa vie absoarbe carbonul pe măsură ce crește și îl eliberează când este utilizată pentru energie, rezultând într-un ciclu neutru din punct de vedere al carbonului care nu duce la creșterea concentrația de gaze cu efect de seră în atmosferă [8, 9].

Trecerea la surse de energie regenerabilă a câștigat importanță datorită creșterii anuale a populației globale și epuizării resurselor energetice. Cu 55% din toate sursele de energie regenerabilă și peste 6% din oferta mondială de energie provenind din bioenergie modernă, aceasta este cea mai semnificativă sursă de energie regenerabilă la nivel mondial. Între 2010 și 2021, utilizarea bioenergiei moderne a crescut cu o medie de 7% anual și este în creștere [10].

Resurse bioenergetice

Resursele de biomasă sunt resurse pe care le întâlnim în diverse medii și pot fi găsite aproape oriunde. După cum este prezentat în Figura 1, sursele de energie din biomasă includ [11]:

• Lemn și deșeuri provenite din prelucrarea lemnului, cum ar fi lemne de foc, pelete de lemn, așchii de lemn, rumeguș și alte deșeuri provenite din fabricile de mobilă și cherestea, precum și alcool din fabricile de celuloză și hârtie.

• Deșeuri și culturi, inclusiv porumb, soia, trestie de zahăr, iarbă comutatoare, plante lemnoase și alge, precum și resturi de procesare a culturilor și alimentelor, în principal pentru crearea de biocombustibili.

• Prezența materialelor biologice în deșeurile solide municipale, cum ar fi resturile alimentare, frunzele tăiate și bunurile din lână, bumbac și hârtie.

• Producția de biogaz și gaze naturale regenerabile din dejecțiile animale și apele uzate umane.

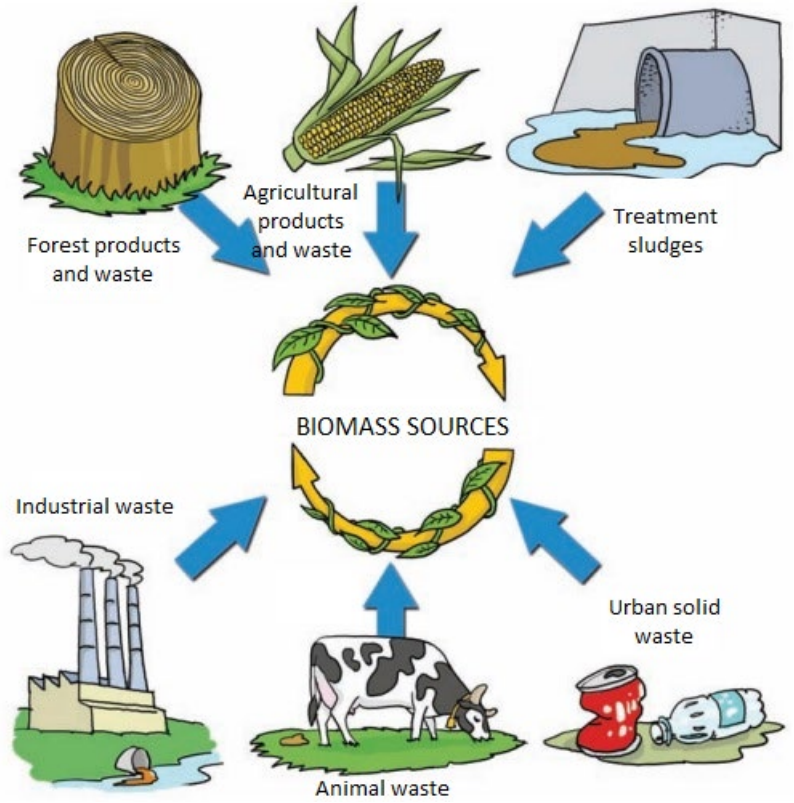


Figura 1: Tipuri de surse de biomasă [12].

Utilizarea biomasei

Cele două tipuri de utilizare a biomasei sunt categorisite ca tradițională (clasică) și modernă. Utilizarea tradițională a biomasei presupune producția locală de lemn, cărbune, deșeuri agricole și deșeuri animale folosind tehnici simple de conversie. Cu alte cuvinte, energia este furnizată tradițional prin arderea directă a materialului de biomasă precum lemn, deșeuri vegetale și animale, și este larg utilizată, în special în țările în curs de dezvoltare [13].

Utilitatea energiei rezultate în urma metodei tradiționale, care este în mod tipic mai puțin eficientă, este reprezentată de energia necesară pentru gătit și încălzire. Având în vedere tendințele de creștere a populației în multe țări, reducerea utilizării biomasei în mod tradițional continuă să fie o sarcină dificilă. Pentru o utilizare mai durabilă și mai eficientă a resurselor de biomasă, sunt critice stimulentele

pentru utilizarea biomasei moderne. Producția de plante pentru materie primă este prioritară în utilizarea modernă a biomasei. Arderea directă a biomasei produse astăzi, precum și utilizarea indirectă a biomasei solide prelucrate, cu densitate energetică mare, pentru producția de electricitate și/sau căldură sunt două exemple de utilizare modernă a biomasei. Stimulentele și sprijinul pentru tehnologiile de bioenergie trebuie să crească în fiecare țară pentru ca utilizarea biomasei moderne să crească la nivel global [8, 10].

În utilizarea modernă a biomasei, metodele de conversie din materiale de biomasă precum deșeurile animale și agricole, deșeurile menajere, urbane și industriale/deșeurile cu conținut organic, culturile energetice, produsele silviculturii energetice, deșeurile forestiere, algele și mușchii care cresc în ecosistemele acvatice pot fi folosite pentru a genera căldură, electricitate și combustibil lichid sau gazos [13]. Aplicațiile moderne includ arderea directă a biomasei produse și utilizarea indirectă a biomasei solide cu densitate energetică mare prelucrată pentru generarea de electricitate și/sau căldură. Pentru a crește utilizarea globală a bioenergiei moderne, sprijinul și stimulentele pentru tehnologiile de bioenergie ar trebuie să fie sporite în fiecare țară [8, 10].

În timp ce aplicațiile primare ale biomasei sunt electricitatea, căldura și transportul, alte aplicații ale biomasei includ reutilizarea sau comercializarea produselor secundare generate în timpul proceselor de obținere a biomasei. Următoarele industrii folosesc biomasa [8]:

Sectorul energetic: Biomasa sub formă solidă, lichidă și gazoasă este utilizată pentru a genera electricitate.

Sectorul industrial: În industrie, energia din biomasa este folosită pentru o varietate de sarcini, inclusiv producția de abur, cogenerare, încălzire, răcire și iluminare.

Sectorul transporturilor: Biocombustibilii furnizează combustibili alternativi, în special pentru transportul rutier și aerian.

Sectorul construcțiilor: Este utilizată în principal pentru încălzire și gătit în această industrie.

Conversia biomasei în energie

Materialele organice precum deșeurile forestiere, agricole, domestice și animale sunt exemple de biomasă, definită ca material biologic produs direct sau indirect prin fotosinteză. Diverse metode de conversie sunt utilizate pentru a transforma biomasa în bioenergie [14].

Energia biomasei este un tip de energie solară eliberată și stocată sub formă de energie chimică ca rezultat al diferitelor procese biologice și termochimice care implică legăturile chimice între moleculele de oxigen, carbon și hidrogen. Biomasa poate fi transformată în combustibili solizi, lichizi sau gazoși, făcând-o o sursă versatilă de energie regenerabilă. Poate fi folosită pentru a genera căldură și/sau electricitate, precum și ca combustibil de transport [14, 15].

Pentru a converti biomasa în energie utilă sunt necesare mai multe etape de proces. Tehnologiile aplicate sunt adaptate la structura fizică, compoziția chimică și serviciile energetice necesare materiilor prime utilizate. Produsele precum biogazul, biodieselul, bioetanolul și gazul sintetic sunt produse folosind diverse metode de conversie aplicate materiilor prime de biomasă. Aceste produse sunt utilizate pentru încălzire, producerea de electricitate și transport [8, 16].

După cum este prezentat în Figura 2, diverse procese sunt folosite pentru a converti biomasa în energie, incluzând [11]:

- Conversia termică - arderea directă
- Conversia termochimică

• Conversia chimică

• Conversia biologică

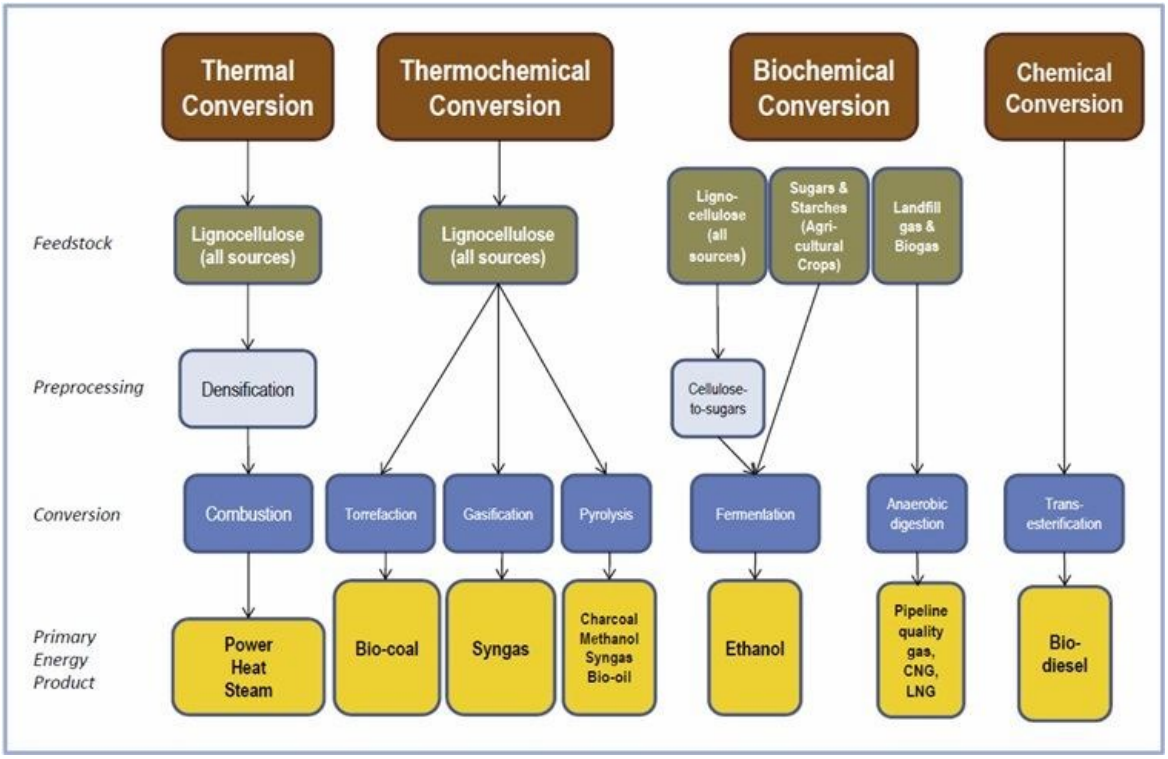


Figura 2: Tehnologii de conversie a biomasei [17]

Conversia termică - arderea directă

Arderea directă este cel mai comun și cel mai matur mod de a converti biomasa în energie utilă. Arderea este reacția chimică rapidă a componentelor combustibile din biomasă cu oxigenul. Ca produs al acestei reacții chimice este căldura, dioxidul de carbon, vaporii de apă și unii oxizi metalici [18].

Biomasa are o capacitate cuprinsă între câteva MW și 100 MW sau mai mult. Centrala cu abur, care generează abur la temperaturi și presiuni ridicate, și turbinele, care folosesc acest abur pentru a genera electricitate, sunt cele două componente principale ale procesului de ardere directă. De obicei, cuptoarele și cazanele sunt utilizate pentru a genera abur pentru utilizarea în sistemele de încălzire/răcire la nivel de district sau pentru a conduce turbine pentru a genera electricitate. Toată biomasa poate fi arsă direct pentru a încălzi clădiri și apă, a încălzi sisteme industriale, precum și pentru a genera electricitate în turbine cu abur. Deși au fost dezvoltate noi sisteme de ardere pentru a crește eficiența, căldura obținută este în general apropiată ca valoare de căldura care ar fi produsă din cărbune de calitate medie, în funcție de tipul de biomasă. Sistemele de ardere în pat fluidizat sunt, de asemenea, disponibile în industrie ca sisteme de ardere extrem de eficiente [11, 12, 19].

Incinerarea este tehnologia cel mai des utilizată pentru utilizarea biomasei în generarea de electricitate și căldură. Numai în Europa există peste 1000 de centrale electrice active pe bază de biomasă. Arderea biomasei este larg utilizată pentru producția de energie în Finlanda și Suedia, care au suprafețe forestiere mari. În afara Europei, majoritatea centralelor se găsesc în Brazilia, China și India. Centralele din China sau India sunt de obicei proiectate pentru a genera electricitate. În Europa, centralele electrice pe bază de biomasă generează atât electricitate, cât și căldură pentru sistemele de încălzire/răcire la nivel de district/central [15].

Conversia termochimică

Procesul de folosire a căldurii pentru a crea diverse tipuri de combustibili solizi, lichizi sau gazoși este cunoscut sub numele de conversie termochimică. Această conversie produce gaz combustibil ca rezultat al descompunerii la temperaturi înalte a biomasei conținând carbon. Piroliza, torefacția, gazeificarea și lichefierea sunt toate exemple de procese de conversie termochimică. Utilizând o varietate de condiții de proces și configurații ale reactorului, energia stocată în structura biomasei poate fi convertită în combustibili solizi prin carbonizare (cărbune), combustibili lichizi prin piroliză sau lichefiere (bio-uleiuri) sau combustibili gazoși prin gazeificare (syngas) [15].

Piroliza este cea mai veche metodă de bază pentru producerea gazului din biomasă. Este definită ca o secvență de evenimente chimice și fizice care au loc atunci când lemnul este încălzit la 900 °C într-un mediu lipsit de oxigen. Gazele, smoala, compușii organici, apa și cărbunele sunt produse rezultate din piroliză [20]. Piroliza este o metodă preferată deoarece toate intrările pot fi reciclate în produse, poate fi folosită pentru a procesa orice tip de deșeuri organice sau alte deșeuri, folosește mai puțină energie deoarece se încălzește cu gazul produs în sistem și permite ajustarea parametrilor pentru a produce produsul dorit. Există trei moduri de a efectua piroliza: lent, rapid și instantaneu. Dacă produsul dorit este solid, deșeurile ar trebui să treacă printr-un proces de piroliză lentă; dacă este lichid, ar trebui utilizat un proces de piroliză rapidă [5].

Torefacția, asemănătoare cu piroliza, este conversia biomasei folosind căldura în absența oxigenului, dar la temperaturi mai mici decât cele utilizate în mod obișnuit de piroliză. Temperaturile în torefacție sunt în general cuprinse între 200 și 320 °C [17]. Biomasa pulverizată este hidrofobă și are o densitate energetică mare. Prin urmare, poate fi stocată în aer liber și transportată pe distanțe lungi fără a absorbi semnificativ apă și a-și pierde valoarea calorică. Stratificarea biomasei poate reduce în continuare costurile de procesare și transport [5].

Gazeificarea este descompunerea la temperaturi ridicate a solidelor conținând carbon precum biomasa pentru a produce gaz combustibil. În timpul procesului de gazeificare, biomasa este arsă cu aer controlat furnizat celulei de combustibil. Printre produsele secundare se numără gazele combustibile precum hidrogenul și metanul, precum și monoxidul de carbon, dioxidul de carbon și azotul. Aproximativ 85% din energia din biomasă poate fi convertită în gaz în timpul procesului de gazeificare. Acestea sunt procese de descompunere termică care implică încălzirea materiilor prime de biomasa la temperaturi ridicate în vase închise și presurizate cunoscute sub numele de gazeificatoare. Ele se disting în primul rând prin temperaturile de proces și cantitatea de oxigen disponibilă în timpul procesului de conversie [21, 22]. Cenușa rămasă de la arderea deșeurilor este de asemenea convertită în biocarbon, care variază în funcție de proprietățile chimice ale deșeurilor. Gazul produs după acest punct este utilizat pentru a genera căldură și putere în motoare cu ardere internă, microturbine, motoare termice și turbine cu gaze [14].

Conversia chimică

Conversia chimică implică folosirea agenților chimici pentru a transforma biomasa în combustibili lichizi. Conversia chimică a biomasei este procesul de transformare a biomasei în alte forme de energie utilizabilă prin interacțiuni chimice [17]. Cel mai comun tip de conversie bazată pe substanțe chimice este trans-esterificarea. Trans-esterificarea este reacția chimică care leagă acizii grași din uleiuri, grăsimi și grăsimi de alcool. Acest proces reduce vâscozitatea acizilor grași și îi face combustibili. Biodieselul, glicerina și săpunurile sunt toate produsele secundare comune ale trans-esterificării. Glicerina se separă de biodiesel ca rezultat al reacției, deoarece are o densitate mai mare decât biodieselul și sedimentează. Apoi, distilarea este folosită pentru a recupera alcoolul care a fost combinat cu biodieselul. Alcoolul și uleiul reacționează împreună pentru a produce glicerina,

biodieselul și alcoolul. Biodieselul poate fi fabricat din aproape orice bio-ulei (cum ar fi uleiul de soia), grăsime animală sau sebum, sau ulei de copac [17, 23].

Conversia biochimică

Conversia biochimică descrie procesul de utilizare a bacteriilor sau a unor enzime produse de microorganisme pentru a descompune biomasa. Termenul "metode de conversie biochimică" descrie procesele biologice utilizate pentru a transforma biomasa. Aceste proceduri încearcă să separe diferite microorganisme sau enzime din biomasă pentru a obține produse finale și produse intermediare. Ca rezultat al procesului, se produc biogaz, hidrogen, etanol, butanol, acetonă, diverși acizi organici și substanțe chimice [5].

Principalele procese de conversie biochimică includ digestia anaerobă și fermentația [19]. Folosirea microorganismelor în absența oxigenului pentru a descompune materia organică este cunoscută sub denumirea de digestie anaerobă sau digestie fără aer. Acest proces realizează de asemenea conversia biomasei în metan și dioxid de carbon. Digestia anaerobă, un sistem de traducere biochimică, este o metodă aplicată pentru a produce biogaz bogat în metan și carbon din resturile de culturi, resturile alimentare și gunoiul (uman și animal). Digestia anaerobă este larg utilizată în tratarea apelor uzate și pentru a reduce emisiile din gropile de gunoi. Digestia anaerobă este un proces în mai multe etape. Mai întâi, bacteriile sunt folosite în hidroliză pentru a descompune carbohidrații în forme digerabile pentru alte bacterii. Zaharurile și aminoacizii rezultați sunt convertiți de al doilea grup de bacterii în dioxid de carbon, hidrogen, amoniac și acizi organici. Produsele secundare sunt apoi transformate de bacteriile suplimentare în metan și dioxid de carbon [5, 17]. Digestia anaerobă poate biodegrada aproape toată biomasa, cu excepția materialelor lemnoase, și este potrivită pentru materii prime umede precum deșeurile animale, nămolul de canalizare, deșeurile agricole umede și fracțiunile organice ale deșeurilor municipale. În gropile de gunoi, digestia anaerobă este de asemenea utilizată pentru a produce energie din gazele de gropi de gunoi [5].

Utilizarea drojdiilor pentru a converti carbohidrații în alcool, în special etanolul, cunoscut și sub denumirea de bioetanol, este cunoscută sub numele de fermentație. În acest proces se utilizează căldură pentru a converti amidonul din materia organică în zahăr. Zahărul rezultat este fermentat pentru a produce etanol. Există mai multe etape în procesul general. Materiile prime agricole sunt măcinate înainte de a fi amestecate cu apă pentru a forma o pastă. Căldura și enzimele sunt folosite pentru a procesa materialele măcinate într-o pastă mai fină. Pentru a converti amidonul în glucoză, se adaugă enzime suplimentare. Pasta zaharată este apoi pompată într-o cameră de fermentație și se adaugă drojdiile. După 48-50 de ore, lichidul fermentat este distilat pentru a separa alcoolul de solidele rămase [5, 24].

Conversia biomasei prin fermentație este crucială deoarece face posibilă producerea unei varietăți de produse în circumstanțe simple. Structura și compoziția materiei prime a biomasei au un impact asupra cantității de materie organică care fermentează. Alegerea materiilor prime pentru acest proces ar trebui să țină cont de competiția existentă între acestea și produsele alimentare. Cu toate acestea, se recunoaște că deșeurile forestiere și agricole sunt cele mai bune surse de biomasa [5].

Progrese în tehnologiile bazate pe biomasă

Datorită progreselor în tehnologiile energetice, biomasa, care a fost utilizată de secole în principal pentru încălzirea locuințelor, este acum folosită în transport și pentru producția de electricitate. Prin transformarea în forme de energie precum hidrogen, etanol, metanol, metan și ulei de piroliză, contribuie, de asemenea, la progresul tehnologic și la economia națiunii [14].

Producția diverselor biomase a devenit o problemă importantă odată cu utilizarea modernă a acesteia. În acest sens se remarcă pădurile energetice și agricultura energetică. În afară de culturile energetice care conțin componente bogate în energie, plantele crescute în diferite regiuni climatice includ iarbă de stuf, papură și iarbă kenger. Alte opțiuni de materii prime pentru biomasă includ biomasa acvatică precum algele și mușchii, precum și specii de semințe de ulei nealimentare precum Jatropha [5, 25].

Cenușa, îngrășământul și biocharul sunt cele mai valoroase produse secundare ale procesării biomasei. Cenușa reziduală produsă de centralele pe bază de biomasă poate fi folosită ca material aditiv pentru ciment în producția de brichete sau ca îngrășământ în lucrările de refacere a terenurilor. Un alt produs secundar al pirolizei este biocharul, care poate fi reîncorporat în procesele de producție a electricității, folosit pentru încălzire sau aplicat ca îngrășământ. Una dintre cele mai promițătoare abordări pentru generarea de energie regenerabilă este producția de biogaz prin digestia anaerobă a resurselor precum deșeurile animale și nămolul de canalizare. Acest proces produce biomasă organică digerată cu proprietăți utile pentru fertilizarea solului [14, 26].

Avantajele și dezavantajele energiei obținute din biomasă

Utilizarea biomasei, la fel ca orice altă formă de generare a energiei, are atât avantaje, cât și dezavantaje. Bioenergia are un potențial enorm printre sursele alternative de energie și poate furniza energie continuă. Un alt avantaj este că bioenergia este ușor de stocat. Mai jos sunt enumerate câteva dintre avantajele energiei biomasei [8, 27, 28]:

• Ca parte naturală a ciclului, utilizarea biomasei reduce cantitatea de carbon eliberată în atmosferă în comparație cu alți combustibili fosili.

• Biomasa poate transforma deșeurile într-o sursă de energie regenerabilă, deoarece societatea produce continuu deșeuri.

• Din biomasă se pot obține numeroase surse de energie pentru o varietate de utilizări.

• Aproape peste tot există o ofertă bogată de resurse de biomasă.

• Din punct de vedere al potențialului de resurse, biomasa se numără printre cele mai importante surse de energie regenerabilă.

• În contrast cu alte surse de energie, centralele electrice pe bază de biomasă au o disponibilitate ridicată și pot funcționa în mod continuu, deoarece pot funcționa la capacitate de bază.

• Când sunt utilizate metode durabile, biomasa îmbunătățește calitatea solului, a aerului și a apei. De exemplu, prin restaurarea terenurilor degradate, utilizarea materiilor prime din biomasă putând îmbunătăți solul. În plus față de numeroasele avantaje ambientale pe care le poate oferi, biomasa încetinește și ritmul schimbărilor climatice.

• Producția și prelucrarea locală a combustibilului din biomasă reduce dependența de importuri în consumul de energie și stimulează economia locală prin generarea de locuri de muncă și reducerea acumulării de deșeuri.

• Utilizarea deșeurilor solide contribuie la reducerea formării deșeurilor. În consecință, sunt reduse atât cerințele de teren pentru depozitele de deșeuri, cât și costurile de eliminare.

Cel mai serios aspect cu care se confruntă sectorul biomasei este lipsa politicilor consistente și pe termen lung, precum și incertitudinea creată de imprevizibilitatea reglementărilor și stimulentelor viitoare. Dezavantajele biomasei sunt enumerate mai jos [8, 27]:

• Unii biocombustibili trebuie amestecați cu combustibili fosili pentru a le crește eficiența.

• Deși biomasa este neutră din punct de vedere al carbonului, atunci când unele dintre deșeurile sale sunt utilizate se produce gaz metan, lucru nociv pentru mediu.

• Defrișarea pentru producția de energie distruge zonele forestiere și amenință biodiversitatea.

• Pierderile de producție ar putea rezulta din lipsa de experiență în industrie, a managementului și personalului care operează centralele pe bază de bioenergie.

• Nu orice tip de deșeuri poate fi utilizat direct ca biomasă. Pentru a utiliza mai eficient deșeurile, ar trebui să se promoveze segregarea acestora.

Bibliografie

1. FAO, *Chapter 2: Energy for Agriculture*, in *The Energy and Agriculture Nexus, Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2000: Rome.
2. FAO, *Chapter 4: The Energy Function of Agriculture*, in *The Energy and Agriculture Nexus, Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2000: Rome.
3. FAO, *Chapter 3: Rural Energy Supply*, in *The Energy and Agriculture Nexus, Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2000: Rome.
4. Lacirignola C. and Graziano da Silva J., *Energy and Agri-Food Systems: Production and Consumption, in Mediterra : Zero waste in the Mediterranean. Natural resources, food and knowledge. FAO (Rome, Italie), CIHEAM (Paris, France). Presses de Sciences Po. 409 p.* 2016.
5. Çolakoğlu, M., S. Aslan, and E. Kumdereli, *Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış*, P. Türkiye, Editor. 2022: Ankara.
6. Di Fraia, S., et al., *Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania).* Journal of Cleaner Production, 2020. **277**: p. 124085.
7. Hanif, M.A., et al., *Chapter 9 - Renewable energy from biomass*, in *Renewable and Alternative Energy Resources*, M.A. Hanif, et al., Editors. 2022, Academic Press. p. 555-603.
8. PWC. *Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış*. 2021; Available from: https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/biyokutle-ve-biyoenerji-sektorlerine-genel-bakis-web.pdf.
9. EESI. *Bioenergy (Biofuels and Biomass)*. 2022 12.05.2023]; Available from: https://www.eesi.org/topics/bioenergy-biofuels-biomass/description.
10. IEA, *Bioenergy, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/bioenergy, License: CC BY 4.0.* 2022.
11. EIA. *Biomass - Basics, The U.S. Energy Information Administration (EIA)*. 2022 11.02.2023]; Available from: https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/#:~:text=Biomass%20sources%20for%20energy%20include,from%20pulp%20and%20paper%20mills.
12. Çağlayan, E., Ö. Ataç, and V. Çoban, *Biyoenerji Her Yerde.* Bilim ve Teknoloji, 2009.
13. Sözen, E., et al., *Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi.* Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 2017. **19**(1): p. 148-160.
14. Deloitte, *Biyokütlenin altın çağı.* 2014.
15. ALMA, H., *TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu*, in *TÜBA Enerji Çalışma Grubu*. 2022.
16. Adams, P., et al., *Biomass conversion technologies*, in *Greenhouse gas balances of bioenergy systems*. 2018, Elsevier. p. 107-139.
17. Williams, C. *Biomass Conversation*. 2010 13.03.2023]; Available from: https://web.archive.org/web/20190120125347/http://www.wgbn.wisc.edu/conversion/.
18. Glushkov, D.O., et al., *Composition of gas produced from the direct combustion and pyrolysis of biomass.* Process Safety and Environmental Protection, 2021. **156**: p. 43-56.

19. Tursi, A. and F. Olivito, *1 - Biomass conversion: general information, chemistry, and processes*, in *Advances in Bioenergy and Microfluidic Applications*, M.R. Rahimpour, et al., Editors. 2021, Elsevier. p. 3-39.
20. Hornung, A., *Biomass Pyrolysis*, in *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, R.A. Meyers, Editor. 2012, Springer New York: New York, NY. p. 1517-1531.
21. Wieser, A., *Biomass Combustionbion for Electricity Generation*, in *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, R.A. Meyers, Editor. 2012, Springer New York: New York, NY. p. 1231-1268.
22. Abdurrahman, G., *Biomass Conversion Technologies for Bioenergy Generation: An Introduction*, in *Biotechnological Applications of Biomass*, B. Thalita Peixoto, B. Thiago Olitta, and B. Luiz Carlos, Editors. 2020, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 1.
23. Sinem, I. and S.J.A.B.v.T.D. Yavuz, *Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış.* 2022(34): p. 193-201.
24. Brethauer, S. and M.H. Studer, *Biochemical Conversion Processes of Lignocellulosic Biomass to Fuels and Chemicals - A Review.* Chimia (Aarau), 2015. **69**(10): p. 572-81.
25. Karaosmanoğlu, F. *Biyokütle teknolojilerinde yenilikler ve trendler*. 2021 03.06.2023]; Available from: https://biyoenerjidergisi.com/biyokutle-teknolojilerinde-yenilikler-ve-trendler/.
26. Alessandra, T., et al., *Biomass Digestion to Produce Organic Fertilizers: A Case-Study on Digested Livestock Manure*, in *Biomass Now*, M. Miodrag Darko, Editor. 2013, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 8.
27. Rahman, S.R., et al., *Overview of biomass energy.* International Journal of Engineering Research Technology, 2013. **2**(11).
28. Rosillo-Calle, F., *Overview of biomass energy*, in *The biomass assessment handbook*. 2012, Routledge. p. 23-48.

Managementul energetic în producția agricolă

În timp ce cererea globală de energie continuă să crească, resursele mondiale de energie fosilă se epuizează rapid. Drept urmare, unul dintre cele mai importante obiective a devenit utilizarea eficientă a energiei. În conformitate cu acest obiectiv, este esențial să se implementeze un sistem de management al energiei prin organizarea unui program energetic cu cea mai mare eficiență posibilă. Acest sistem include activități care vizează îmbunătățirea continuă a performanței energetice, cum ar fi eficiența energetică, studiile de audit energetic și activitățile care necesită un studiu detaliat [1].

Având în vedere dependența sectorului agricol de sectorul energetic, precum și costurile în creștere și consecințele negative ale utilizării combustibililor fosili, managementul energiei în acest sector este crucial. Fermierii își pot crește veniturile și pot avea un impact pozitiv asupra mediului printr-o mai bună înțelegere a consumului de energie în fermă și aplicând cele mai bune practici pentru gestionarea energiei în fermă [2, 3].

Probleme legate de utilizarea energiei în agricultură

Pe măsură ce populația lumii continuă să crească într-un ritm alarmant, cererea pentru o agricultură modernă și capacitatea de a hrăni un număr mare de oameni crește zilnic. Odată cu creșterea consumului de alimente, necesarul de energie al sectorului agricol crește și el [4].

Energia este un element vital în producția agricolă. Pe lângă puterea umană și animală, sectorul agricol folosește energie în clădiri (iluminat, răcire/încălzire), operațiuni agricole (unelte și mașini pentru pregătirea terenului, irigare, semănat, fertilizare, recoltare și transport) și activități comerciale (transport, construcții și operarea facilităților). Energia este necesară în industria agricolă pentru a pompa apă pentru irigare, pentru a opera mașini agricole în diverse operațiuni agricole în timpul fazei de creștere, cum ar fi semănatul, plivitul, fertilizarea, stropirea și recoltarea, pentru a transporta recoltele, pentru a răci și usca sau procesa produsele [5].

Cantitatea de energie utilizată în producția agricolă variază semnificativ în funcție de nivelul de dezvoltare, tipul de activitate, practicile de producție utilizate, locația zonei de producție și factorii de mediu precum solul și clima [6]. Din cauza facilităților inadecvate, accesului limitat la tehnologiile moderne și a unei mari dependențe de munca manuală, țările în curs de dezvoltare se confruntă frecvent cu restricții energetice mai severe. Pe de altă parte, țările dezvoltate încearcă să optimizeze utilizarea energiei, să reducă emisiile și să includă opțiuni de energie regenerabilă. Pentru a atinge alternative de energie regenerabilă fiabile și acceptabile din punct de vedere ecologic, sectorul energetic trebuie să treacă printr-o tranziție completă care include utilizarea surselor de energie regenerabilă. Infrastructura rurală slabă, utilizarea limitată a biomasei, dependența mare de combustibilii fosili, dependența de energie pentru irigare și accesul limitat la energie modernă sunt câteva dintre principalele tipuri de probleme și provocări energetice în agricultură [5].

Utilizarea energiei în agricultură este crucială pentru modernizarea practicilor agricole și creșterea productivității [7]. Creșterea productivității agricole care poate fi realizată prin utilizarea producției moderne de energie nu poate fi realizată din cauza utilizării insuficiente a energiei electrice și mecanice în agricultură [8].

Toată producția agricolă trebuie să fie sustenabilă din punct de vedere economic pentru a asigura securitatea alimentară pe termen lung. Fiind unul dintre cele mai importante inputuri agricole, energia este esențială pentru a asigura securitatea alimentară. Eforturile de susținere a rolului esențial al energiei trebuie să fie coordonate cu eforturile de reducere a foamei, avansarea dezvoltării rurale și îmbunătățirea securității alimentare. Aceste eforturi nu ar trebui privite ca un scop în sine, ci mai

degrabă ca o componentă importantă a unui proiect mai amplu. Necesarul și producția de alimente sunt frecvent împiedicate de calitatea scăzută și cantitățile limitate de energie disponibilă [9, 10].

Deoarece agricultura are, de asemenea, un impact negativ asupra schimbărilor climatice, preocupările legate de aceasta au crescut interesul pentru eficiența energetică și utilizarea energiei în agricultură. Majoritatea energiei utilizate în activitățile agricole provine din combustibili fosili, care sunt utilizați în aproape toate activitățile. Acest lucru este rezultatul diferitelor tipuri de echipamente agricole folosite, emisiilor de metan legate de creșterea animalelor, emisiilor de gaze cu efect de seră legate de ferme și multe altele [11, 12].

Importanța problemei energetice este subliniată de necesitatea de a utiliza eficient resursele naturale limitate, de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, de a reduce costurile energetice și de a crește competitivitatea sectorului agroalimentar [13]. Este crucial să se găsească alternative sustenabile și regenerabile pentru fiecare dintre acești factori, chiar dacă există mulți factori direcți și indirecți de energie care determină cât de multă energie este consumată în total în agricultură [14].

Nexusul energie-agricultură va necesita, fără îndoială, eforturi semnificative pentru a avansa. Aspectele tehnologice, de mediu și sociale trebuie să fie dezvoltate și evaluate în continuare [9]. Reducerea costurilor inputurilor și a încărcării rețelei prin utilizarea tehnicilor eficiente de management al energiei și utilizarea energiei regenerabile în agricultură vor ajuta la abordarea problemelor legate de securitatea alimentară [5].

Managementul energetic

Termenul "management energetic" se referă la procesele de măsurare, monitorizare, planificare și implementare, procese utilizate pentru a asigura cea mai bună folosire posibilă atât a resurselor, cât și a energiei produse. Procesul sistematic de management energetic maximizează economiile de energie, în timp ce îmbunătățește continuu performanța energetică [15, 16].

Managementul energetic implică utilizarea și aplicarea tehnologiei în planificarea și operarea atât a producției, cât și a consumului de energie pentru a asigura o aprovizionare și o utilizare optimă a energiei. Obiectivele principale ale managementului energetic sunt conservarea resurselor, economisirea bugetului și prevenirea schimbărilor climatice, precum și asigurarea accesului ușor și continuu la energie pentru toți [17].

Eficiența energetică și utilizarea optimă sunt critice pentru atingerea creșterii durabile, la fel ca multe alte aspecte, cum ar fi reglementarea investițiilor și adoptarea tehnologiilor adecvate. Reducerea costurilor și a risipei energetice fără a afecta producția sau calitatea, realizate cu un impact minim asupra mediului, reprezintă un factor de bază pentru dezvoltarea durabilă în managementul energetic. Aceasta include reducerea consumului de energie prin implementarea tehnicilor eficiente din punct de vedere energetic, precum și determinarea tipului adecvat de energie și a tarifelor energetice corespunzătoare pentru unitatea relevantă, cum ar fi o centrală electrică, o fabrică, o clădire sau fermă agricolă [17, 18].

Auditul energetic este o activitate esențială în managementul energetic. Este o tehnică sistematică care are ca scop echilibrarea totală a intrărilor de energie cu utilizarea totală a energiei, precum și identificarea tuturor fluxurilor de energie și justificarea utilizării energiei pe baza funcțiilor sale specifice. Scopul final este de a crește eficiența energetică, ceea ce va reduce costurile energetice pe termen lung, conducând la o dezvoltare economică mai sustenabilă. În plus, creșterea eficienței energetice ar asigura securitatea energetică, precum și protecția mediului [17, 19].

Managementul energetic în producția agricolă

Energia este unul dintre cele mai importante inputuri agricole. De la procesele agricole până la executarea diverselor operațiuni economice, energia este o componentă esențială pentru satisfacerea nevoilor fundamentale ale oamenilor. Pentru a hrăni populația în creștere a lumii și pentru a satisface alte obiective sociale și economice, producția agricolă, procesarea și distribuția necesită o cantitate considerabilă de energie. Deoarece randamentele culturilor și aprovizionarea cu alimente sunt inextricabil legate de energie, controlul consumului de energie în agricultură este esențial [11, 20].

Pentru a atinge obiectivele agriculturii durabile, este crucial să se adopte și să se mențină un echilibru între economie și cererea de energie. Națiunile mai puțin dezvoltate ale lumii încearcă să găsească modalități de a satisface cerințele crescânde pentru alimente, apă curată și surse alternative de energie, în timp ce combat schimbările climatice [21]. Datorită creșterii rapide a populației, dezvoltării economice și tehnologice, urbanizării și schimbărilor climatice, consumul de energie crește rapid. Această creștere a consumului de energie este de așteptat să ducă la creșterea prețurilor electricității, ceea ce ar avea un impact direct asupra sectorului agricol din cauza cererii mari de energie pentru diverse activități agricole. Prețurile alimentelor vor crește ca urmare a costurilor ridicate ale inputurilor necesare pentru a produce alimente din agricultură, conducând la foamete și sărăcie și punând în pericol securitatea alimentară, în special în țările în curs de dezvoltare. Strategiile îmbunătățite de management al energiei pot ajuta la abordarea intensificării utilizării energiei și a costurilor ridicate ale inputurilor în agricultură [5, 22].

Agricultura necesită energie pentru a-și desfășura activitățile, dar poate fi utilizată și pentru a produce energie, ceea ce face ca managementul energiei să fie o problemă crucială, având în vedere importanța strategică a sectorului agricol. Drept urmare, optimizarea consumului, producției și eficienței fac parte din managementul energiei în industria agricolă [23].

Obiectivele principale ale managementului energiei în producția agricolă sunt următoarele [11]:

• Asigurarea și menținerea unei aprovizionări și utilizări optime a energiei pe tot parcursul ciclului de viață al produsului,

• Reducerea costurilor și a risipei de energie menținând în același timp producția și calitatea,

• Minimizarea impactului asupra mediului.

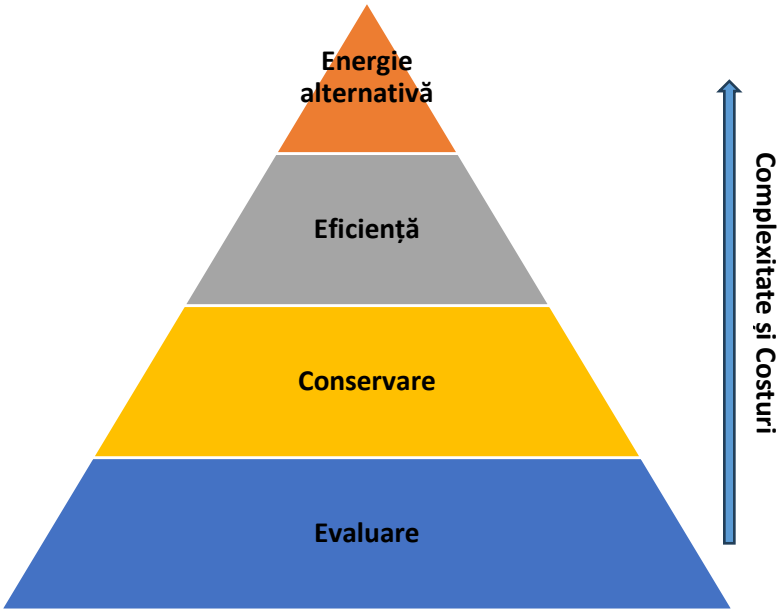


Figura 1: Piramida managementului energetic pentru activitățile agricole [24]

Costurile în creștere ale energiei în sectorul agricol forțează fermierii să reducă costurile prin creșterea eficienței energetice și utilizarea surselor de energie regenerabilă. În general, costurile mai mari ale inputurilor legate de energie cresc costul total al producerii bunurilor agricole, ceea ce scade venitul fermierilor [24]. Figura 1 prezintă o piramidă energetică pentru aplicații agricole. Această piramidă este un instrument de luare a deciziilor care poate fi utilizat într-o varietate de contexte legate de energie, inclusiv în agricultură. Pe măsură ce se trece de la activitățile de evaluare a energiei la proiectele de energie alternativă sau regenerabilă, costul și complexitatea acestui instrument cresc [11].

Piramida energetică începe cu o evaluare energetică în ferma agricolă. Înainte de a implementa măsuri concrete, evaluarea energetică permite evaluarea consumului și nevoilor de energie. Consumul de energie în fermă poate fi controlat folosind sisteme de monitorizare a energiei, stabilirea de obiective și sisteme de audit energetic. Monitorizarea energiei se realizează prin înregistrarea regulată a datelor privind performanța energetică de la o parte a sistemului la toate părțile. După monitorizare, datele trebuie analizate și efectuat un audit energetic. Auditul energetic include activități pentru determinarea măsurilor ce pot fi luate pentru a atinge o eficiență mai mare cu mai puțină energie în sistemul de utilizare a energiei. Datorită lipsei de forță de muncă, energia este resursa cea mai fiabilă pentru producția agricolă, iar analizarea energiei necesare pentru fiecare proces reprezintă un instrument important.

În continuare, trebuie implementate practici simple de conservare, urmate de practici de eficiență energetică. Eficiența energetică este adesea confundată cu conservarea energiei. Conservarea energiei presupune utilizarea scăzută de energie prin schimbarea comportamentului sau obiceiurilor. Într-o fermă, de exemplu, energia este economisită prin stingerea luminilor inutile. Eficiența energetică înseamnă folosirea unei cantități mai mici de energie pentru a realiza aceeași sarcină. Eficiența energetică este demonstrată prin înlocuirea becurilor incandescente cu becuri LED în fermă. Preocuparea conservării energiei este limitarea utilizării, în timp ce preocuparea eficienței energetice este utilizarea mai eficientă a energiei [25, 26]. Economisirile și îmbunătățirile de eficiență au numeroase avantaje în sine. Oportunitățile de creștere a productivității agricole prin implementarea unor tehnici și practici inovatoare trebuie identificate pentru fiecare cultură și ecologie. Agricultura organică, o mai bună gestionare a solului și a apei, gestionarea integrată a dăunătorilor și fertilizarea culturilor sunt doar câteva dintre strategiile și practicile care pot ajuta sectorul agricol să avanseze către o mai mare eficiență energetică și durabilitate [27].

Ultimul pas este investirea în energie regenerabilă și folosirea acesteia. În timp ce măsurile de eficiență energetică sunt adesea cea mai rapidă și ieftină modalitate de a reduce costurile energetice ale fermei, este de asemenea crucial să se ia în considerare sistemele de generare a energiei regenerabile pentru a produce energie pentru multe dintre activitățile agricole. Utilizarea surselor de energie regenerabilă în activitățile agricole va duce la o utilizare îmbunătățită a energiei, la securitate alimentară și la schimbări în mediul înconjurător, toate acestea fiind beneficii pentru obiectivele ecologice ale agriculturii [5].

Monitorizarea performanței energiei utilizate în activitățile agricole prin adoptarea unui sistem de gestionare a energiei în sectorul agricol poate promova o eficiență mai mare și o utilizare mai bună a capacității, reducerea risipei de resurse și a poluării, precum și costuri mai scăzute de operare și întreținere. Ca rezultat, prețurile energiei și ale produselor pot fi reduse în timp ce crește valoarea, conducând la o creștere economică stabilă. O creștere economică neîntreruptă combinată cu conservarea mediului asigură baza pentru dezvoltarea sigură și durabilă a societății umane [3,17].

Bibliografie

1. Capehart, B.L., Turner, W.J., *Introduction to Energy Management*, in *Guide to Energy Management*. 2020, River Publishers: New York.
2. Barragán-Ocaña, A., Merritt, H., González-Pacheco, M.A. *Energy Management in Agriculture*, in *Handbook of Energy Management in Agriculture*, A. Rakshit, et al., Editors. 2023, Springer Nature Singapore: Singapore. p. 1-17.
3. Bhattacharyya, P., et al., *Energy management for climate-smart agriculture.* 2020: p. 73-84.
4. Rokicki, T., et al., *Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries.* 2021. **14**(6): p. 1570.
5. Majeed, Y., et al., *Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture.* Energy Reports, 2023. **10**: p. 344-359.
6. Bekhet, H.A., Abdullah, A.J.I.B.R. *Energy use in agriculture sector: input-output analysis.* 2010. **3**(3): p. 111.
7. Pimentel, D., *Handbook of Energy Utilization In Agriculture*. 2017: CRC Press, Taylor & Francis eBooks.
8. Bekhet, H., Azlina, A. *Energy Use in Agriculture Sector: Input-Output Analysis*. Vol. 3. 2010.
9. FAO, *The Energy and Agriculture Nexus.* Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, 2000.
10. Bogdanski, A., *Integrated food–energy systems for climate-smart agriculture.* Agriculture Food Security, 2012. **1**(1): p. 1-10.
11. Swaminathan, C., et al., *Energy Auditing in Crop Production*. 2020. p. 137-188.
12. Lynch, J., et al., *Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO2-Emitting Sectors.* 2021. **4**.
13. DIAKOSAVVAS, D., *Joint Working Party on Agriculture and the Environment, Improving Energy Efficiency in the Agro-Food Chain* COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2016)19/FINAL, 2017.
14. Raser, G., Silecchia, M. *Energy Use in U.S. Agriculture: An Overview* 2020, Institute for Energy and the Environment, : Vermont Law School.
15. Doty, S., Turner, W.C. *Energy management handbook*. 2004: Crc Press.
16. Özbakır, P., *Enerji Yönetimi*, in *Fen Bilimleri Enstitüsü*. 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi: İstanbul.
17. Islam, M.M., Hasanuzzaman, M. *Chapter 1 - Introduction to energy and sustainable development*, in *Energy for Sustainable Development*, M.D. Hasanuzzaman and N.A. Rahim, Editors. 2020, Academic Press. p. 1-18.
18. Thollander, P., et al., *13 - Energy management*, in *Introduction to Industrial Energy Efficiency*, P. Thollander, et al., Editors. 2020, Academic Press. p. 239-257.
19. Kluczek, A., Olszewski, P.J.J.o.c.p. *Energy audits in industrial processes.* 2017. **142**: p. 3437-3453.
20. Devasenapathy, P., Senthilkumar, G., Shanmugam, P.J.I.J.o.A. *Energy management in crop production.* 2009. **54**(1): p. 80-90.
21. Hercher-Pasteur, J., et al., *Energetic assessment of the agricultural production system. A review.* Agronomy for Sustainable Development, 2020. **40**(4): p. 29.
22. Chel, K., *Renewable energy for sustainable agriculture.* Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 10.1051/agro/2010029.hal00930477 2011. **31**(1): p. 91-118.
23. FAO, *Chapter 2: Energy for Agriculture*, in *The Energy and Agriculture Nexus, Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2000: Rome.
24. Ohio, E. *Farm Energy Management*. https://energizeohio.osu.edu/farm-energy-management.
25. Croucher, M.J.E.P., *Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency.* 2011. **39**(10): p. 5795-5799.
26. Hepbaşlı, A., *Sanayide Enerji Yönetim Programının Temelleri.* Klima, 2000. **106**: p. 63-75.
27. Vijayakumar, S., et al., *Efficient Management of Energy in Agriculture*, in *Handbook of Energy Management in Agriculture*, A. Rakshit, et al., Editors. 2023, Springer Nature Singapore: Singapore. p. 1-28.

Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură I

Alimentele pentru oameni sunt produse doar prin agricultură. Focusul agriculturii durabile este pe necesitatea de a folosi instrumente și tehnici care să crească producția alimentară fără a compromite resursele sau serviciile ecosistemice [1].

Cerințele energetice pentru încălzire, răcire, tracțiune și alte funcții energetice ale fermei pot fi satisfăcute cu o varietate de tehnologii. Zonele rurale pot produce energie regenerabilă folosind surse geotermale, bioenergie, solare, eoliene și alte surse de energie. Fermierii pot folosi simultan o varietate de tehnologii. În alte circumstanțe, producția de energie regenerabilă a fermei poate fi injectată în rețelele de gaz sau electricitate. Atât la nivel de fermă, cât și în întregul sector agricol, există o gamă largă de opțiuni și potențial pentru producția și distribuția de energie regenerabilă [2].

Majoritatea echipamentelor agricole sunt alimentate de combustibili fosili, care produc gaze cu efect de seră și accelerează schimbările climatice prin eliberarea lor în atmosferă. Promovând utilizarea surselor de energie regenerabilă precum cea solară, eoliană, bioenergie, hidroenergie și geotermală, astfel de probleme de sustenabilitatea mediului pot fi reduse [3, 4]. Numeroasele instalații de dimensiuni mici și medii existente prezint[noi oportunități de cooperare în producția, vânzarea și distribuția energiei regenerabile. Acestea înlocuiesc combustibilii fosili, promovează creșterea economică în zonele rurale și contribuie la securitatea energetică [2].

Energia regenerabilă pentru agricultură

Aprovizionarea cu energie a sistemelor agricole a fost întotdeauna un aspect crucial al dezvoltării agricole și este esențială pentru garantarea securității alimentare. Pentru multe sarcini în agricultură, inclusiv semănatul, irigarea, recoltarea și pregătirea solului, este necesară energia electrică și mecanică. În plus, sursele de energie fiabile și reglementate sunt necesare pentru pomparea și distribuția apei prin sistemele de irigații [4, 5].

Tehnologia agricolă se schimbă și se dezvoltă rapid. Aceste progrese duc la îmbunătățirea utilajelor și echipamentelor agricole, a facilitățile agricole și clădirilor pentru culturi și animale de fermă [6]. Noile și modernele aplicații ale tehnologiei agricole cresc și mai mult consumul de energie. Pe măsură ce producția agricolă se modernizează, sunt necesare alternative la sursele de energie din combustibili fosili pentru a asigura că sistemele alimentare sunt construite pe baze sigure, ecologic durabile și rezistente. Înlocuirea combustibililor fosili în agricultură cu soluții de energie curate cu emisii reduse de carbon este crucială pentru abordarea nevoilor energetice ale sistemelor alimentare atât în țările dezvoltate, cât și în cele în curs de dezvoltare [7, 8].

Costurile energetice sunt unul dintre cei mai importanți factori care influențează prețurile produselor agricole [9]. Creșterea costurilor energetice ridică direct prețurile combustibililor și ale electricității, precum și costurile indirecte ale hranei, îngrășămintelor și transportului. Practicile de economisire a energiei și utilizarea energiei regenerabile sunt cruciale pentru reducerea costurilor de producție agricolă și asigurarea continuității producției locale [10]. Fermierii pot produce propria lor energie și pot deveni mai autonomi prin utilizarea energiei regenerabile [11].

Deși utilizarea tehnologiilor de energie regenerabilă în agricultură datează din antichitate, adoptarea pe scară largă cu infrastructură tehnologică a avut loc doar în ultimul secol. Energia regenerabilă este folosită în agricultură nu doar pentru generarea electricității, ci și în multe alte direcții, atât direct, cât și indirect [3, 10]. Tabelul de mai jos conține date despre utilizarea surselor de energie regenerabilă în agricultură, iar secțiunile care urmează oferă o descriere detaliată a aplicării tehnologiilor de energie regenerabilă în agricultură.

Tabelul 1: Utilizarea surselor de energie regenerabilă în agricultură [12].

Sursa	*Tipul de utilizare*	*Zona de utilizare*	*Necesități*	*Avantaje*
Energie solară	Iluminat	Lumină naturală	Structurile agricole naturale ar trebui să fie proiectate în conformitate cu iluminatul.	Costurile de iluminare sunt reduse. Se asigură creșterea producției. Necesită puțină întreținere.
	Fotovoltaic	Generare de energie	Radiația solară nu ar trebui să fie obstrucționată.	Cerințele de electricitate sunt îndeplinite. Poate fi integrat în designul clădirii sau montat pe acoperiș.
	Încălzire ambientală	Încălzire	Încălzirea prin pardoseală. Pereții au nevoie de expunere la soare.	Se îmbunătățesc condițiile de viață. Calitatea aerului se îmbunătățește.
	Încălzirea apei	Apă caldă	Radiația solară nu ar trebui să fie obstrucționată.	Se satisface necesarul de apă caldă.
Energie geotermică	Pompă de căldură	Încălzirea serei Încălzirea ambientală Uscarea produselor	Este necesar spațiul pentru puțurile orizontale sau verticale. Compoziția chimică a fluidului geotermal este importantă.	Încălzirea și răcirea cu schimbătoare de căldură. Practicile îmbunătățesc condițiile de trai.
Biomasa	Biocombustibil	Generarea de electricitate Încălzirea și răcirea ambianței Încălzirea apei Combustibil	Materialul organic trebuie să fie furnizat continuu din deșeurile agricole și forestiere.	Controlul deșeurilor este asigurat. Costurile de operare sunt reduse. Se asigură alimentarea de rezervă.
Energie eoliană	Turbine	Generarea de electricitate Rezistență mecanică	Este necesar ca vântul să sufle cu o anumită viteză.	Cu tehnologia în continuă dezvoltare, costurile unitare ale energiei sunt în scădere.
Hidroenergie	Hidroelectric	Generare de electricitate	Este necesar un flux de apă constant.	Investiția făcută poate fi folosită nu numai pentru energie, ci și pentru irigații și pentru prevenirea inundațiilor.

Utilizarea energiei solare în agricultură

Energia solară reprezintă cea mai mare parte a resurselor energetice ale lumii. Doar o cantitate mică din energia solară ajunge la suprafața Pământului. Cu toate acestea, cantitatea modestă de energie solară care ajunge la suprafața Pământului într-o singură oră depășește totalul energiei produse de toate celelalte surse accesibile, inclusiv hidroelectrice, nucleare și combustibili fosili [6].

Tehnologiile de energie solară generează fie energie electrică, fie termică. Panourile fotovoltaice, care sunt în mod tipic alcătuite din celule solare compuse din straturi de siliciu care produc curent electric continuu, pot transforma radiația solară în electricitate. Atunci când este necesar, invertoarele pot converti această energie în curent alternativ pentru utilizarea ei de către aparate electrice comerciale, care sunt în mod tipic alimentate de la rețeaua electrică [5].

Tehnologia panourilor solare, folosită pentru a genera electricitate din energia solară, este relativ nouă. Cu toate acestea, este sectorul cu cea mai rapidă creștere din lume. Persoanele care locuiesc în zone îndepărtate sau care necesită independență de rețeaua electrică sunt deosebit de interesate de aceste instalații. Atunci când este întuneric, electricitatea produsă prin utilizarea luminii zilei pentru producerea electricității necesare într-o casă este, de asemenea, folosită prin stocarea ei în baterii cu unități de stocare [13]. Odată cu creșterea zilnică a prețurilor energiei electrice de la rețea și scăderea prețurilor datorată avansării tehnologice în sistemele fotovoltaice, generarea de electricitate pe baza radiației solare devine tot mai atrăgătoare. Panourile fotovoltaice sunt rentabile pentru a furniza electricitate în locații îndepărtate precum ferme, livezi și alte zone cu activități agricole. În aplicații precum gardul electric, iluminatul câmpului sau casei și pompele de apă pentru adăparea animalelor sau irigarea agricolă, sistemele fotovoltaice pot fi semnificativ mai puțin costisitoare de instalat decât liniile de alimentare de la rețea [3]. Figura 1 prezintă aplicațiile panourilor solare pentru a fi utilizate în agricultură.

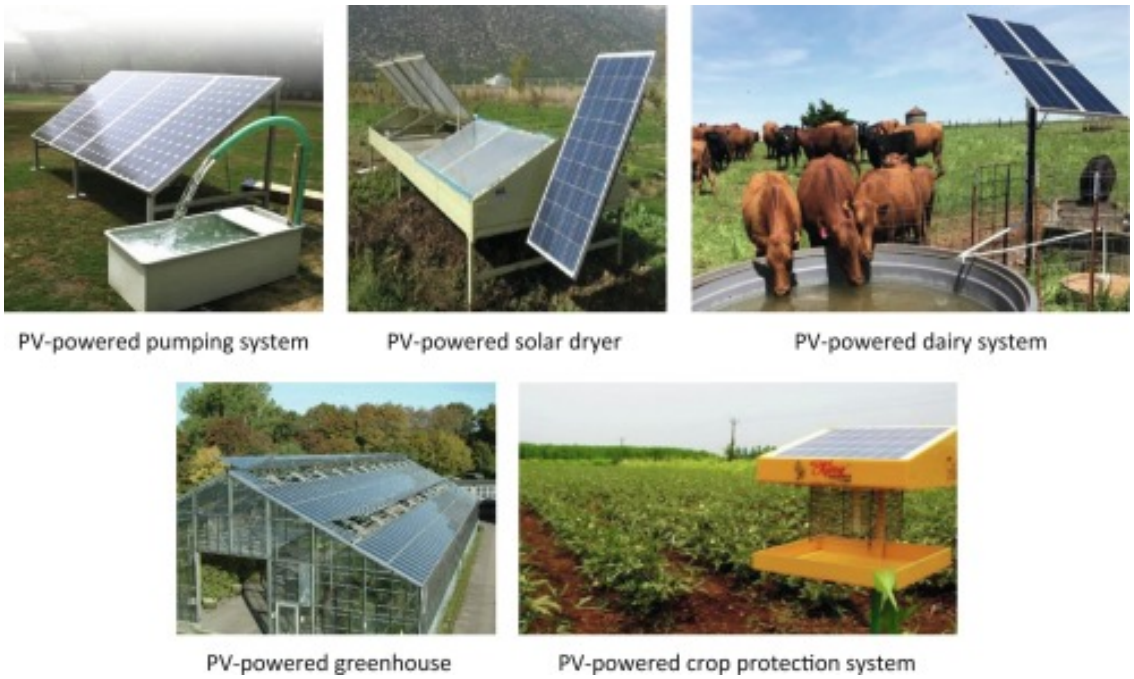


Figura 1: Cele mai comune aplicații bazate pe utilizarea panourilor solare în agricultură.

Depozitele frigorifice sunt camere speciale izolate fără schimb de aer cu exteriorul, construite pentru a prelungi durata de raft a alimentelor, a reduce pierderile și a prelungi durata de stocare menținând calitatea produselor. Consumul de energie în depozitele frigorifice este ridicat, iar această energie poate fi furnizată prin instalarea de panouri fotovoltaice pe acoperișul depozitului. Energia solară este

una dintre cele mai bune soluții pentru funcționarea micilor depozite frigorifice în zonele rurale. Sursa de energie solară poate, de asemenea, să contribuie la reducerea costurilor de operare ale sistemului de depozitare frigorifică [14, 15].

Cea mai proeminentă aplicație recentă a panourilor solare este în sistemele de irigații. Pentru irigații sunt necesare sisteme de pompare. Acest lucru se realizează prin utilizarea sistemelor de pompare electrice. Așa cum este prezentat în Figura 2, sistemele de pompare alimentate de panouri fotovoltaice satisfac o gamă largă de necesități de apă, de la irigații pentru culturi la adăparea animalelor și utilizarea domestică [3]. Panourile solare, conductele de transmisie și bateriile sunt tot ceea ce este necesar pentru a utiliza energia solară în irigații. Producătorii de irigații agricole își propun să irige suprafețe mari prin transmiterea apei sub presiune. Irigarea prin picurare, irigarea prin microaspersiune, irigarea prin aspersiune și irigarea la suprafață pot beneficia toate de energia solară. Irigarea se realizează prin transferul energiei colectate în panoul solar către alte părți prin intermediul unei baterii [10]. Tehnologia de irigații alimentată de energie solară câștigă popularitate în întreaga lume, iar multe țările dezvoltă politici pentru a promova soluțiile de energie regenerabilă, inclusiv energia solară. Irigația solară oferă o soluție pentru frecventele penurii de energie care perturbă aprovizionarea necesară pentru extragerea și distribuția apei de irigații în sectorul agricol [5]. Multe dintre aceste sisteme au și avantajul suplimentar de a stoca apa pentru utilizare atunci când soarele nu strălucește, ceea ce reduce cheltuielile în general, crește simplitatea, elimină necesitatea bateriilor și crește eficiența sistemului [3].

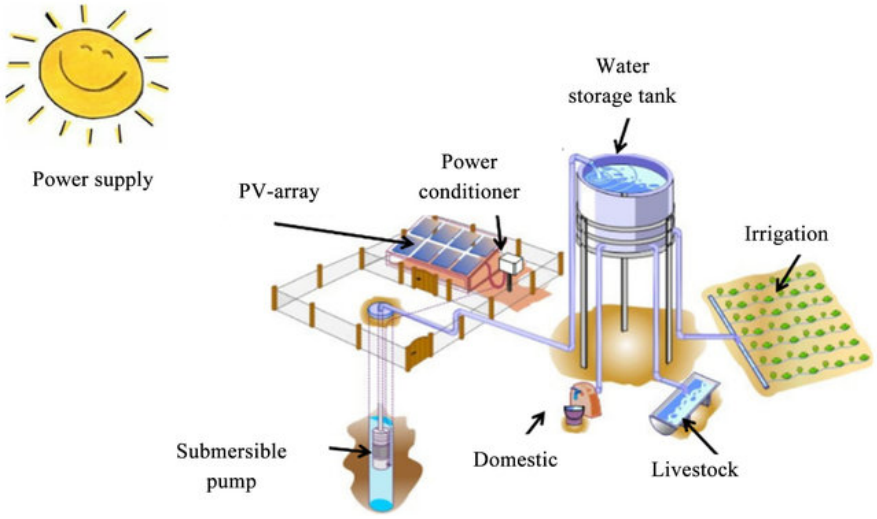


Figura 2: Sistem de pompare a apei cu panouri fotovoltaice [16].

O altă utilizare pentru panourile fotovoltaice este de a alimenta ventilatoare electrice pentru circulația aerului. Fermele moderne de animale pot crește producția prin dublarea sau triplarea acesteia prin găzduirea animalelor în structuri închise. Sistemele fotovoltaice pot furniza electricitate pentru ventilatoarele utilizate pentru circularea aerului în aceste sisteme.

Colectoarele solare sunt un alt tip de aplicație a energiei solare. Aceste sisteme dirijează căldura către o locație centrală. În multe părți ale lumii, sunt utilizate sobe de gătit alimentate de căldura generată [17]. Sistemele care funcționează la o temperatură specifică alcătuiesc sistemele de seră. Prin urmare, controlul temperaturii este factorul cel mai important ce trebuie luat în considerare. Este una dintre regiunile în care sunt utilizate sistemele de energie solară. Când vine vorba de reglarea în mod frecvent a temperaturii, se evidențiază două abordări. Tehnica inițială folosește colectoare solare. Generarea de energie solară este o altă strategie. Sistemul de energie solară generează mai întâi electricitate, care este apoi folosită pentru a încălzi apa, încălzind sera. În aceste sisteme, sunt folosite panouri solare, baterii și invertoare [18,19].

Energia solară nu este folosită doar pentru a genera electricitate în sectorul agricol. A doua cea mai comună utilizare a energiei solare este pentru a genera căldură pentru diverse procese agricole [13]. Aplicațiile în care se utilizează căldură solară includ sistemele de uscare. Există diverse tipuri de uscătoare solare disponibile pentru uscarea produselor agricole. Uscătoarele active și pasive pot fi utilizate în funcție de schema de încălzire. În uscătoarele solare active sunt folosite mijloace externe pentru transferul căldurii solare, cum ar fi pompele și ventilatoarele, pentru a transfera energia solară de la colectorul solar la paturile de uscare ale produsului, în timp ce în uscătoarele pasive căldura circulă în mod natural prin presiunea vântului, flotabilitate sau o combinație a acestora [20].

Sistemele solare de apă caldă sunt disponibile de mult timp. Aceste sisteme includ un colector construit din materiale care absorb eficient căldura de la soare. Apa rece este trimisă prin colector, unde este încălzită și returnată în rezervor. Apa mai rece este colectată de la baza rezervorului și returnată la colectorul solar în timp ce apa caldă urcă în partea de sus a rezervorului. Apa caldă solară poate ajuta la reducerea cantității de energie consumată pentru a încălzi apa în case [8].

Utilizarea energiei geotermale în agricultură

Energia geotermală este energia termică care este transportată la suprafață de apa fierbinte, abur și gaze care pot conține dizolvate mai multe minerale, săruri diferite și gaze decât apele subterane și apele de suprafață învecinate și care se află deasupra temperaturii medii atmosferice regionale. Energia geotermală este creată de căldură și presiune care s-au acumulat la diferite adâncimi ale crustei pământului. În cea mai mare parte a timpului, această energie provine fie din puțuri forate special în acest scop, fie din apă care ajunge la suprafață prin zone slabe create de fisuri și fracturi care se întind din adâncime până la suprafața pământului [21].

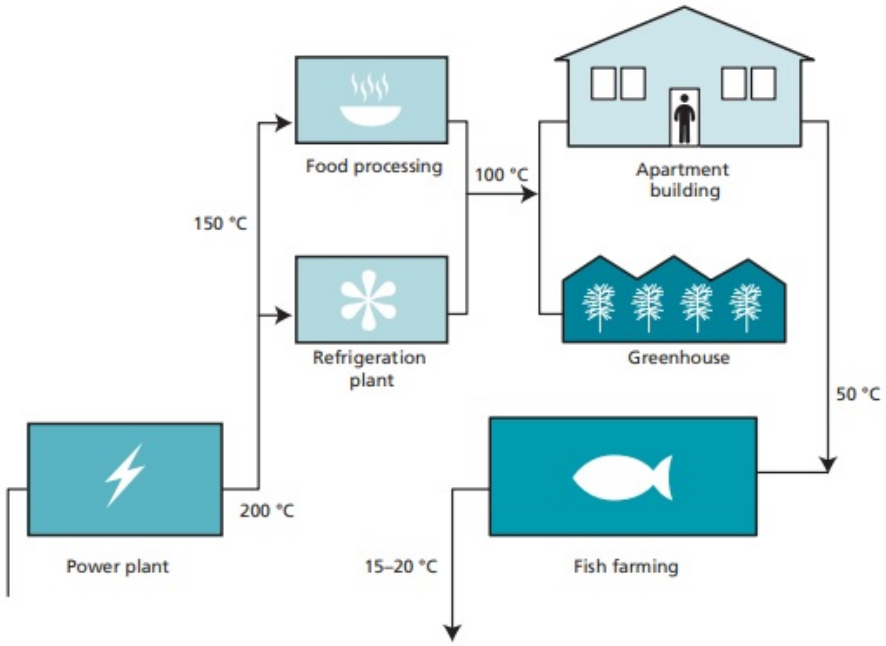


Figura 3: Utilizarea în cascada a centralei geotermale [23].

Energia geotermală este frecvent folosită în agricultură pentru a produce electricitate, dar este și o sursă semnificativă pentru încălzirea serelor, bălților de pește, culturilor și cerealelor care trebuie uscate. În timp ce multe dintre utilizările frecvente ale energiei geotermale sunt comparabile cu cele ale altor surse de energie regenerabilă, energia geotermală este mai fiabilă și mai accesibilă deoarece este constantă. Energia geotermală oferă potențialul economic și tehnologic de a permite în viitor

realizarea a numeroase produse agricole cu valoare adăugată [22,23]. Un exemplu de utilizare în cascadă a centralelor geotermale într-o fermă este prezentat în Figura 3.

Energia geotermală este cea mai folosită în agricultură la nivel mondial, în special pentru încălzirea serelor. În ceea ce privește operațiunile și întreținerea, sursa de energie geotermală este cea mai potrivită pentru aplicațiile de încălzire a serelor datorită adâncimii reduse și temperaturii scăzute. Acest lucru reduce costul săpăturii și pomparea fluidului [24]. Sistemele de încălzire a serelor alimentate cu energie geotermală sunt evaluate alături de echipamentele utilizate pentru transportul fluidului geotermal de la zona de extracție la zona de utilizare. Termenii tehnici pentru aceste sisteme includ sisteme de încălzire combinate, sisteme de încălzire a aerului folosind ventilatoare și schimbătoare de căldură și sisteme de încălzire amplasate în sol, pe suprafața solului sau pe mese de creștere. Sistemul de încălzire a solului sau a subsolului este cel mai popular sistem de încălzire în aplicațiile de energie geotermală. Cea mai bună soluție este să se sprijine acest sistem cu unul de încălzire a aerului ambiant alimentat la aceeași sursă. Sistemul de încălzire a solului este format din conducte de încălzire îngropate la diferite adâncimi și intervale și prin care circulă fluidul cald. Conductele de încălzire din plastic sunt acum utilizate pe scară largă [25]. Utilizarea resurselor geotermale în locul energiei convenționale economisește aproximativ 80% din costurile de combustibil și 5-8% din costurile totale de exploatare. Alte beneficii ale încălzirii geotermale pentru sere includ aer și apă mai curate, igienă îmbunătățită, o forță de muncă stabilă și capacitatea de a beneficia de scutiri fiscale [23].

Bălțile și iazurile piscicole folosesc, de asemenea, energia geotermală. Aceste facilități necesită o energie semnificativă pentru încălzire. În această utilizare, energia geotermală este utilizată frecvent pentru a încălzi apa în rezervoare, bazine și canale. Pentru a obține temperaturile necesare pentru creșterea peștilor, apa caldă geotermală este utilizată pentru a încălzi apa dulce în schimbătoare de căldură sau este combinată cu apa dulce. Această utilizare a resurselor geotermale este sugerată ca remediu pentru acvacultură în zonele mai reci sau în situații în care încălzirea convențională poate să nu fie economică [26, 27].

În întreaga lume, căldura geotermală este folosită pentru a usca o gamă largă de produse agricole. Energia geotermală este folosită pentru a usca produsele în medii curate și igienice. Temperatura energiei geotermale înainte de uscare și valorile de temperatură necesare pentru aplicația de uscare sunt criterii importante. Căldura pentru uscare poate fi obținută din puțurile geotermale sub formă de apă caldă sau abur, sau din căldura reziduală a unei centrale geotermale [23].

Bibliografie

1. UNDP, *Sustainable Agriculture*, in *The International Guidebook of Environmental Finance Tools, United Nations Development Programme (UNDP)*. 2012, United Nations
2. EIP-AGRI, *Agricultural European Innovation Partnership (EIP-AGRI) Focus Group Enhancing production and use of renewable energy on the farm*. 2019: Belgium.
3. Chel, K., *Renewable energy for sustainable agriculture*. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 10.1051/agro/2010029 . hal00930477, 2011. **31**(1): p. 91-118.
4. Atılgan Türkmen, B., *Renewable Energy Applications for Sustainable Agricultural Systems.* International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 2020. **4**(4): p. 497-504.
5. Hans Hartung, L.P., *The benefits and risks of solar-powered irrigation - a global overview, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.* 2018.
6. Ghulam Hasnain, T., Muhammad, A., Umar Sohaib, H. *Solar Technology in Agriculture*, in *Technology in Agriculture*, A. Fiaz and S. Muhammad, Editors. 2021, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 20.

7. IRENA and FAO, *Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris agreement. https://doi.org/10.4060/cb7433en*. 2021: Abu Dhabi and Rome.
8. Flores G, E.D.N., Hoffmann D, *Renewable energy in agriculture: A farmer's guide to technology and feasibility NSW Farmers, First edition.* 2015.
9. FAO, *Handbook on Agricultural Cost of Production Statistics Guidelines for Data Collection, Compilation and Dissemination, Food and Agriculture Organization of the United Nations.* 2016.
10. AgroWell. *Use of Renewable Energy Resources in Agriculture*. 2022 30.03.2023]; Available from: https://agrowell.com.tr/use-of-renewable-energy-resources-in-agriculture/.
11. Stephen Herbert, M.H., Chickering-Sears, C., Weis, S., Carlevale, J., Campbell-Nelson, K. *Renewable Energy Production on Farms.* Center for Agriculture, Food, and the Environment, UMass Extension Crops, Dairy, Livestock and Equine Program, 2016.
12. Öztürk, H.H. *Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı*. 2006 20.03.2023]; Available from: http://www.emo.org.tr/ekler/85e48a43c7f63ac_ek.pdf.
13. R. Sims, A.F., Puri, M., Bracco, S. *Opportunities for Agri-Food Chains to Become Energy-Smart, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), PAEGC Founding Partners.* 2015.
14. Mandal, D., Mondal, S. *Solar PV powered on-farm cold storage design software HimSaurya for improving storage quality and reducing wastage of perishable agricultural produce.* International Journal of Applied Sciences and Engineering Research, 2017. **6**: p. 11-23.
15. Atılgan Türkmen, B., *Renewable Energy Applications for Sustainable Agricultural Systems.* International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 2020. **4**(4): p. 497 - 504.
16. Chilundo, R., Mahanjane, U., Neves, D. *Design and Performance of Photovoltaic Water Pumping Systems: Comprehensive Review towards a Renewable Strategy for Mozambique.* Journal of Power and Energy Engineering, 2018. **06**: p. 32-63.
17. Troya, *Tarımsal Üretimde Yenilenebilir Enerji Kullanımı.* Troya Çevre Derneği, 2015.
18. Wang, T., et al., *Integration of solar technology to modern greenhouse in China: Current status, challenges and prospect.* Renewable Sustainable Energy Reviews, 2017. **70**: p. 1178-1188.
19. Gorjian, S., et al., *A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses.* Journal of Cleaner Production, 2021. **285**: p. 124807.
20. Gorjian, S., et al., *The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations.* Journal of Cleaner Production, 2021. **292**: p. 126030.
21. EİGM. *Jeotermal Enerji, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü*. 2022 23.03.2023]; Available from: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal.
22. Islam, M.T., et al., *Trends and prospects of geothermal energy as an alternative source of power: A comprehensive review.* 2022: p. e11836.
23. Nguyen, M.V., et al., *Uses of geothermal energy in food and agriculture – Opportunities for developing countries. Rome, FAO.* 2015.
24. Taşkın, O., Vardar, A. *Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı.* Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016. **30**(1): p. 179-184.
25. Kendirli, B., Cakmak, B. *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı.* Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2010: p. 095-103.
26. Ragnarsson, Á., *Geothermal Energy in Aquaculture, Short Course VI on Utilization of Low- and Medium-Enthalpy Geothermal Resources and Financial Aspects of Utilizatio, Santa Tecla, El Salvador.* 2014.
27. Boyd, T.L., Lund, J.W. *Geothermal heating of greenhouses and aquaculture facilities*. in *2006 ASAE Annual Meeting*. 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură II

Hrana umană este produsă numai prin agricultură. Agricultura durabilă se concentrează pe necesitatea de a utiliza instrumente și tehnici care să sporească producția de alimente fără a compromite resursele de mediu sau serviciile ecosistemice [1].

Cerințele de energie pentru încălzire, răcire, tracțiune și alte funcții energetice ale fermei pot fi satisfăcute cu o varietate de tehnologii. Zonele rurale pot produce energie regenerabilă folosind surse de energie geotermală, bioenergie, energie solară, energie eoliană și energie solară. Fermierii pot utiliza simultan o varietate de tehnologii. În alte circumstanțe, producția de energie regenerabilă a fermei poate fi injectată în rețelele de gaz sau de electricitate. Atât la nivelul fermei, cât și la nivelul întregului sector agricol, există o gamă largă de opțiuni și de potențial pentru producția și distribuția de energie regenerabilă [2].

Majoritatea echipamentelor agricole funcționează cu combustibili fosili, care produc gaze cu efect de seră și grăbesc schimbările climatice prin eliberarea de gaze cu efect de seră în atmosferă. Prin promovarea utilizării surselor de energie regenerabilă, cum ar fi energia solară, eoliană, bioenergia, energia hidroelectrică și energia geotermală, astfel de probleme legate de durabilitatea mediului pot fi reduse [3, 4]. Numeroase instalații mici și mijlocii prezintă noi oportunități de cooperare în domeniul producției, vânzării și distribuției de energie regenerabilă. Acestea înlocuiesc combustibilii fosili, promovează creșterea economică în zonele rurale și contribuie la securitatea energetică [2].

Utilizarea energiei eoliene în agricultură

Vântul este un tip de energie solară care este recepționată indirect. Acest tip de energie este alimentat în mod constant de soare și este produs de încălzirea suprafeței pământului de către soare. Încălzirea diferită a suprafeței Pământului provoacă variații ale temperaturii, umidității și presiunii aerului, iar această variație a presiunii determină mișcarea aerului. Caracteristicile vântului variază în timp și spațiu din cauza diferențelor geografice și a încălzirii neomogene a suprafeței terestre [5, 6].

Energia eoliană este în prezent una dintre cele mai importante surse de energie regenerabilă, cu cea mai rapidă dezvoltare în ceea ce privește tehnologia și utilizarea și cu o economie care este competitivă cu sursele de energie convenționale. Energia eoliană este procesul de obținere a energiei mecanice sau electrice prin intermediul turbinelor, prin utilizarea energiei cinetice a aerului deja prezent. Energia eoliană este prietenoasă cu mediul, poate asigura securitatea energetică și reprezintă o alternativă viabilă la energia tradițională bazată pe combustibili fosili [7, 8].

Aplicațiile energiei eoliene în agricultură pot fi împărțite în două categorii. Acestea sunt:

- Domenii de aplicații mecanice (cum ar fi extracția apei și măcinarea) și

- Domenii de aplicații electrice (aplicații în afara rețelei și aplicații conectate la rețea) [9].

Energia eoliană este utilizată pentru a crea energie mecanică de la turbine eoliene, energie electrică de la turbine eoliene sau să scoată apă din fântâni cu ajutorul pompelor eoliene [10]. Se știe că utilizarea energiei eoliene în zonele rurale a început cu morile de vânt. Morile de vânt au fost folosite pentru a extrage apă din fântâni și pentru a măcina cereale încă din Evul Mediu. Energia eoliană este transformată în energie mecanică de către o turbină, care face ca două plăci să se rotească ritmic și ca produsele dintre aceste două plăci să fie măcinate. Morile de vânt au sprijinit mult timp activitățile agricole [11, 12].

Pompele sunt mașini care transformă energia potențială a lichidului în energie cinetică. Pompele acționate de vânt folosesc doar energia eoliană pentru a trage apa. Energia cinetică a fluxului de vânt este convertită în energie mecanică de către arborele turbinei eoliene și este utilizată pentru pomparea

apei în zonele agricole și pentru extragerea apei din fântâni, după cum se arată în Figura 1. Cu ajutorul dispozitivului la care este conectată, pistonul pompei instalate pe sursă se mișcă în sus și în jos și evacuează apa în zona dorită de la suprafață. Apa preluată de la sursă este transferată prin furtunuri cu ajutorul diferenței de presiune. Deoarece energia eoliană este o sursă intermitentă, aceasta este utilizată împreună cu sistemele de stocare pentru a satisface cererea de apă în mod continuu [13-15]. Pentru ca sistemul să funcționeze este necesar puțin vânt. În condiții de vânt slab, o pompă eoliană poate extrage în medie 10-15 tone de apă. Utilizatorii pot furniza pompe de diferite dimensiuni în funcție de cerințele lor. Capacitatea variază în funcție de dimensiunea rotorului la care este conectată pompa [16].

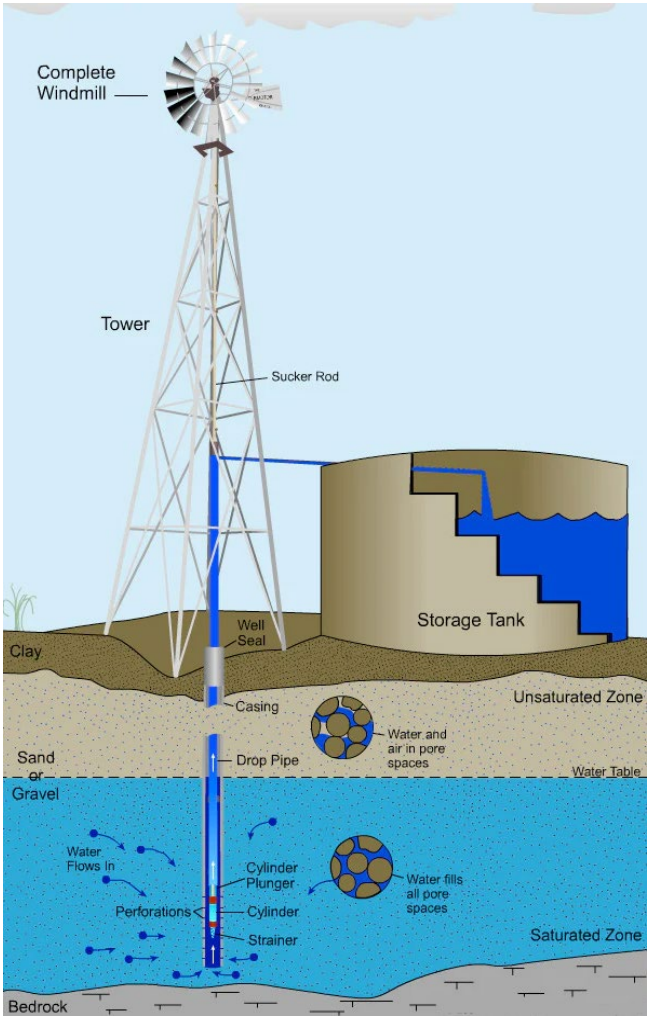


Figura 1: Pompă de apă alimentată cu energie eoliană [15].

Energia eoliană este importantă în generarea de energie electrică, iar proporția de energie electrică generată cu ajutorul acestei surse de energie este în continuă creștere [17]. Turbinele eoliene sunt componentele principale ale centralelor eoliene. Deși generarea de energie eoliană este o tehnologie relativ nouă, logica de procesare este identică cu cea a morilor de vânt mai vechi. O turbină eoliană este alcătuită din mai multe componente, inclusiv un generator, un turn, un echipament electric, cutii de viteze, o pală, un corp de elice (rotor) și o fundație. Prin mișcarea de rotație a arborelui rotorului, energia cinetică a vântului este transformată în energie mecanică în rotor și transferată generatorului din corp. Energia generată este stocată în baterii sau transmisă direct către consumatorii de energie electrică [6, 10].

Turbinele eoliene pot fi utilizate atât cu, cât și fără o conexiune la rețeaua electrică. Turbinele eoliene conectate la rețea sunt utilizate de obicei pentru aplicații de mare putere. Turbinele fără rețea sunt utilizate în principal pentru cerințe minore [18, 19].

Energia eoliană este o sursă de energie nepoluantă și fără combustibil. Morile de vânt instalate în fiecare fermă sau unitate de locuit din zonele agricole reduc semnificativ costurile de producție a energiei, iar astfel de sisteme instalate în zone îndepărtate de liniile de transport sunt economice din toate punctele de vedere. În cazul în care aceste sisteme sunt conectate la rețeaua de distribuție a energiei electrice, se pot obține venituri suplimentare prin vânzarea părții de energie electrică produsă în plus față de consum, prin stabilirea temeiului legal necesar. Cel mai semnificativ avantaj al turbinelor eoliene este că nu ocupă mult spațiu datorită proiecției lor mici, ceea ce permite instalarea în zonele agricole [19, 20].

Utilizarea energiei hidroelectrice în agricultură

Deoarece apa a fost esențială pentru supraviețuirea noastră încă de la începutul timpului, omenirea a creat întotdeauna spații de locuit în apropierea corpurilor de apă. Omul a folosit apa nu numai pentru nevoile zilnice, ci și pentru transport, vânătoare și chiar pentru producerea de energie. Râurile au oferit primul mod simplu de transport. Unul dintre primele exemple de transport pe apă este fluxul de copaci și crengi tăiate/colectate peste apă. Această metodă, care este încă utilizată pe scară largă în activitățile forestiere, a dus și la dezvoltarea plutei sau a bărcilor, primul mod de transport. Acest lucru a contribuit, de asemenea, la dezvoltarea activităților comerciale [21].

În agricultură, energia apei curgătoare este utilizată în mod mecanic sau electric. Timp de secole, puterea apei a fost folosită pentru a genera energie mecanică. Puterea mecanică permite desfășurarea activităților zilnice, cum ar fi prelucrarea agricolă. Procesul de măcinare a cerealelor, care este piatra de temelie a producției agricole, cu mori de apă folosite și astăzi, este una dintre aplicațiile importante ale puterii mecanice a apei în agricultură [22]. O moară de apă este o structură mecanică care utilizează o roată de apă sau o turbină. Acest sistem funcționează prin direcționarea apei dintr-un râu sau iaz către o roată de apă prin intermediul unui canal sau al unei conducte. În funcție de debitul de apă, roțile de apă pot fi orizontale sau verticale. Roțile de apă orizontale sunt mai simple, dar necesită o viteză mare a apei pentru a funcționa corect [23].

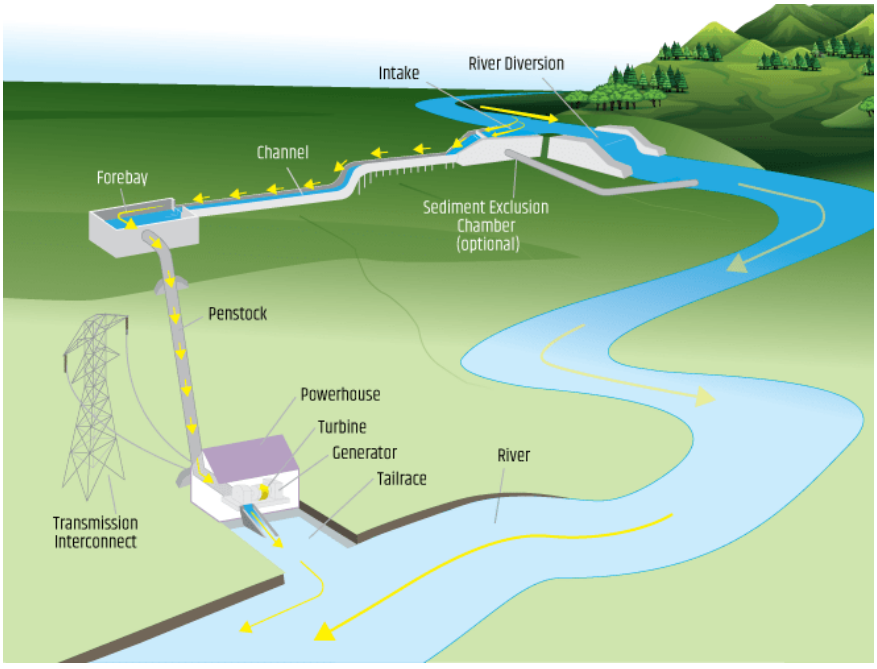


Figura 2: Centrală hidroelectrică la scară mică [26].

Cea mai utilizată sursă de energie regenerabilă este energia hidroelectrică, deoarece are mai multe avantaje față de alte surse, inclusiv o densitate energetică ridicată, costuri reduse și fiabilitate [24]. Cele două tipuri principale de centrale hidroelectrice sunt cele care sunt amplasate în rezervoare și cele care sunt amplasate de-a lungul râurilor. Centralele hidroelectrice de tip fluvial utilizează curentul râului pentru a roti turbinele, care apoi generează electricitate. În centralele hidroelectrice cu rezervoare se folosește un baraj pentru a aduna și stoca cantități mari de apă [25].

Centralele hidroelectrice au dimensiuni care variază de la foarte mici la foarte mari. Microcentralele hidroelectrice de tip râu sau centralele hidroelectrice mici, de obicei de ordinul kW, sunt utilizate pentru a genera energie electrică în zonele rurale din multe țări. După cum este ilustrat în Figura 2, aceste sisteme funcționează pe baza unui principiu simplu: apa din râuri sau fluvii trece printr-o turbină, care se rotește și învârte un generator, care generează electricitate. Pentru a obține o producție fiabilă de energie, este esențial să se înțeleagă capacitatea resurselor locale de apă și să se proiecteze sistemul în consecință [26, 27].

Utilizarea centralelor hidroelectrice de mici dimensiuni este în creștere datorită modului în care acestea pot fi încorporate în lanțul de aprovizionare agricol. Energia produsă de fluxurile de curent din canalele de irigații reprezintă o oportunitate semnificativă neexploatată odată cu dezvoltarea acestor sisteme. Canalul de irigații este utilizat în acest mod pentru a funcționa împreună pentru un serviciu de irigații eficient și pentru producția de energie [28].

Centralele hidroelectrice generează energie electrică care este utilizată pentru iluminat, încălzirea serelor, prelucrarea și depozitarea produselor agricole și pomparea apei în zonele agricole. Barajele sunt, de asemenea, utilizate pentru piscicultură și irigații directe [29].

Utilizarea energiei bioenergetice în agricultură

Există două tipuri de energie din biomasă disponibile în prezent: tradițională și contemporană. Sursele moderne de energie din biomasă, cunoscute și sub numele de biocombustibili, includ biodieselul, etanolul și biogazul produse din culturi energetice, păduri energetice și deșeuri. Energia din biomasa tradițională este descrisă ca fiind simpla ardere a lemnului și a deșeurilor de origine animală [20]. Biomasa este utilizată în ferme fie direct pentru energie electrică și termică, fie indirect ca și combustibil sub formă lichidă, solidă sau gazoasă. Mai mult de 30% din energia utilizată în gospodăriile din întreaga lume pentru încălzire, gătit și iluminat provine din biomasă [30].

Odată cu inovarea tehnologică rapidă și automatizarea în creștere, s-a intensificat și utilizarea combustibililor pe bază de petrol în activitățile de producție agricolă, cum ar fi cultivarea solului, fertilizarea, pulverizarea, recoltarea și transportul către piață. Acest lucru crește costurile de producție ale întreprinderilor agricole din cauza consumului de combustibil și cauzează probleme de mediu în zonele rurale. Este esențial să se utilizeze în activitățile agricole biocombustibili în locul combustibililor din petrol [31].

Bioenergia provenită din activitățile agricole și forestiere este esențială pentru ca fermele să își genereze propria energie. De asemenea, este esențială pentru combaterea schimbărilor climatice și pentru asigurarea securității aprovizionării cu energie [25, 32].

Secțiunile anterioare oferă informații detaliate despre bioenergie și aplicațiile sale agricole.

Utilizarea sistemelor hibride în agricultură

Sistemele energetice hibride sunt sisteme energetice care utilizează mai multe surse de energie. Un sistem energetic hibrid generează energie prin combinarea surselor regenerabile și a celor fosile [33]. Figura 3 prezintă un exemplu de sistem hibrid de generare a energiei electrice. Un sistem energetic

hibrid este planificat cu un accent pe piață mai degrabă decât pe tehnologie: prioritatea este de a selecta cele mai eficiente și mai fiabile sisteme energetice pentru a satisface nevoile utilizatorilor [34].

Un sistem hibrid de mici dimensiuni combină mai multe avantaje ale unui singur sistem. Sistemele hibride sunt cele care utilizează mai mult de o sursă de energie pentru a obține cele mai bune performanțe. Este un sistem ideal pentru locurile cu un necesar de energie ce trebuie menținut constant vara și iarna sau în care sistemul de energie regenerabilă existent trebuie să fie sprijinit. Sistemele energetice hibride pot profita de infrastructura energetică existentă, adăugând în același timp componente care să contribuie la reducerea costurilor, a impactului asupra mediului și a defecțiunilor sistemului [36]. Un sistem hibrid de mici dimensiuni combină mai multe avantaje ale unui singur sistem. Sistemele hibride sunt cele care utilizează mai mult de o sursă de energie pentru a obține cele mai bune performanțe. Este un sistem ideal pentru locurile cu un necesar de energie vara și iarna care nu trebuie întrerupt sau în care sistemul de energie regenerabilă existent trebuie să fie susținut. Sistemele energetice hibride pot profita de infrastructura energetică existentă, adăugând în același timp componente care să contribuie la reducerea costurilor, a impactului asupra mediului și a defecțiunilor sistemului [37].

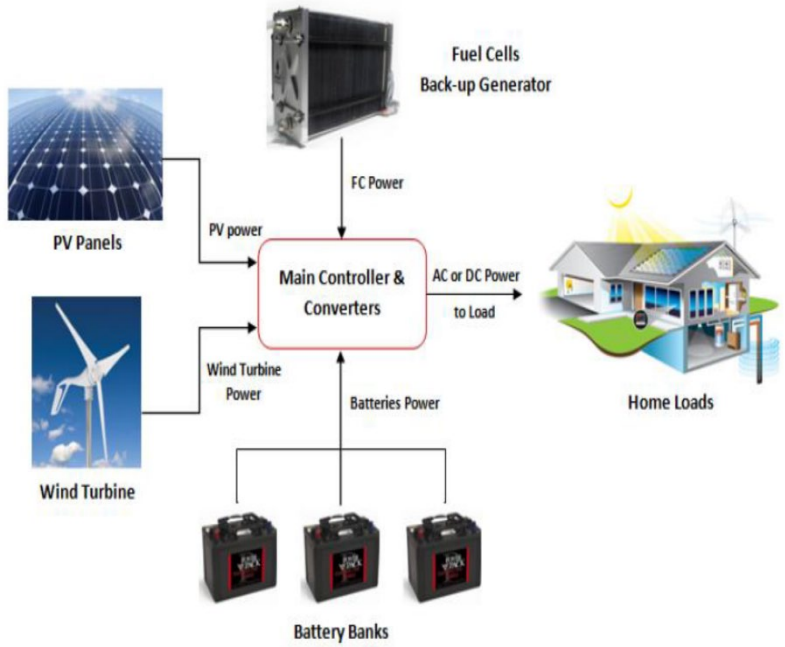


Figura 3: Exemplu de sistem hibrid de producere a energiei electrice [35].

Sistemele energetice hibride oferă o sursă alternativă de energie pentru agricultură. Aceste sisteme combină una sau mai multe surse de energie regenerabilă cu un sistem de stocare și, uneori, pot include o sursă de energie neregenerabilă. Versiunile micro ale acestor sisteme, cum ar fi o microturbină eoliană cu câteva panouri solare, pot fi utilizate pentru a alimenta zonele rurale din țările cu venituri mici și medii. De asemenea, acestea pot contribui la depășirea unora dintre provocările asociate sistemelor tradiționale de energie regenerabilă prin diversificarea sursei de energie [38].

Bibliografie

1. UNDP, *Sustainable Agriculture*, in *The International Guidebook of Environmental Finance Tools, United Nations Development Programme (UNDP)*. 2012, United Nations
2. EIP-AGRI, *Agricultural European Innovation Partnership (EIP-AGRI) Focus Group Enhancing production and use of renewable energy on the farm*. 2019: Belgium.
3. Chel, K., *Renewable energy for sustainable agriculture*. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 10.1051/agro/2010029.hal00930477, 2011. **31**(1): p. 91-118.
4. Atılgan Türkmen, B., *Renewable Energy Applications for Sustainable Agricultural Systems.* International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 2020. **4**(4): p. 497-504.
5. YEGM. *Renewable Energy Sources*. 2013 [12.05.2023]; Available from: http://www.eie.gov.tr/english/index-e.html.
6. Breeze, P., *Chapter 11 - Wind Power*, in *Power Generation Technologies (Third Edition)*, P. Breeze, Editor. 2019, Newnes. p. 251-273.
7. Nurbay, N., Çınar, A. *Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması.* Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2005: p. 19-21.
8. Türkmen, B.A., *Orta ve Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinlerinin Yaşam Döngüsü Boyutunda Sürdürülebilirliği: Literatür Taraması.* Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2022. **13**(3): p. 393-404.
9. Mahmoud, M., et al., *Chapter 3.3 - Applications of wind energy*, in *Renewable Energy - Volume 1 : Solar, Wind, and Hydropower*, A.G. Olabi, Editor. 2023, Academic Press. p. 331-345.
10. Bhatia, S.C., *8 - Wind energy*, in *Advanced Renewable Energy Systems*, S.C. Bhatia, Editor. 2014, Woodhead Publishing India. p. 184-222.
11. Olabi, A.G., et al., *Wind Energy Contribution to the Sustainable Development Goals: Case Study on London Array.* 2023. **15**(5): p. 4641.
12. Acosta-Silva, Y.d.J., et al., *Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review.* 2019. **102**(2): p. 127-140.
13. Taşkın, O. and A. Vardar, *Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı.* Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016. **30**(1): p. 179-184.
14. Karishma, C., *Farming the wind and wind power agriculture.* Just Agriculture, 2021. **1**(7).
15. Aermotorwindmill. *How a Windmill Pumps Water?, Genuine Aermotor Windmills*. 2004 [08.08.2023]; Available from: https://aermotorwindmill.com/pages/how-a-windmill-works.
16. Soyut Windmill. *Rüzgar Su Pompası Nedir?* 2023 [08.07.2023]; Available from: http://www.soyutwindmill.com/ruzgar-su-pompasi/nasil-calisir/.
17. TÜBA, *Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Raporu, Türkiye Bilimler Akademisi,*, İ. Dinçer, Editor. 2019: Ankara.
18. Gürbüz, İ.B., Özkan, G., Korkmaz, Ş. *Rüzgar Enerji Santrallerinin Kırsala Olan Sosyo-Ekonomik Etkileri ve Sosyal Kabulü.* Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat 2021, 2021. **1**: p. 223-231.
19. Bıçakçı, E., C. Balabanlı, and E. Acar, *Tarım ve Mera Alanlarında Rüzgâr ve Güneş Enerji Sistemleri Kurulması Hakkında Değerlendirmeler.* Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2023. **13**(1): p. 700-712.
20. Karaca, C., *Türkiye'de Sürdürülebilir Tarım Politikaları: Tarım Sektöründe Atıl ve Yenilenebilir Enerji Kaynakların Değerlendirilmesi.* Tarım Ekonomisi Dergisi, 2013. **19**(1): p. 1-19.
21. Shiji, C., S. Dhakal, and C. Ou, *Greening small hydropower: A brief review.* Energy Strategy Reviews, 2021. **36**: p. 100676.
22. Angelakis, A.N., et al., *Sustainable and Regenerative Development of Water Mills as an Example of Agricultural Technologies for Small Farms.* 2022. **14**(10): p. 1621.
23. Bates, L., Khennas, S.H., Sastrawinata, N. *Expanding Energy Access in Developing Countries, The Role of Mechanical Power*, ed. T.U.N.D.P. (UNDP). 2009, UK: Practical Action Publishing Ltd.
24. IRENA, *Hydropower*, in *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*. 2022, International Renewable Energy Agency: Germany.

25. Atılgan Türkmen, B., *Renewable Energy Applications for Sustainable Agricultural Systems.* International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 2020. **4**(4): p. 497 - 504.
26. EERE. *Types of Hydropower Plants, US Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, Water Power Technologies Office*. 2023 [28.06.2023]; Available from: https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants.
27. Singal, S.K., et al., *Chapter 1 - Introduction to small hydropower*, in *Small Hydropower*, S.K. Singal, et al., Editors. 2023, Elsevier. p. 1-14.
28. Cengiz, K., *Sulama kanalları üzerine inşa edilen hidroelektrik santrallerin işletilmesi üzerine bir çalışma.* Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat 2021, 2020(19): p. 138-144.
29. Clement, O., et al., *Renewable Energy Usage for Agricultural Practices: A review. 2018 International Conference of The Nigerian Institution of Agricultural Engineers, Lagos, Nigeria.* 2018.
30. Saleem, M., *Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source.* Heliyon, 2022. **8**(2): p. e08905.
31. ALMA, H., *TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu*, in *TÜBA Enerji Çalışma Grubu*. 2022.
32. TOB, *İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIM DEĞERLENDİRME RAPORU*, T.R.G.M. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Çevre ve Doğal Kaynakları Koruma Daire Başkanlığı, Editor. 2021.
33. Ding, J.J., Buckeridge, J.S. *Design considerations for a sustainable hybrid energy system.* IPENZ Transactions, 2000. **27**(1).
34. Manwell, J., *Hybrid energy systems.* Encyclopedia of energy, 2004. **3**(1): p. 215-229.
35. Agarwal, S., Chourasiya, S., Palwalia, D. *Hybrid Energy Management System design with Renewable Energy Sources (Fuel Cells, PV Cells and Wind Energy): A Review*. in *APGRES 2017*. 2018. Malaysia.
36. Zohuri, B., *Hybrid Renewable Energy Systems*, in *Hybrid Energy Systems, Driving Reliable Renewable Sources of Energy Storage*, B. Zohuri, Editor. 2018, Springer. p. 1-38.
37. İncitaş. *Yenilenebilir Enerjide Hibrit Dönemi*. 2023 [15.06.2023]; Available from: https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/yenilenebilir-enerjide-hibrit-donemi.
38. Buddila, W. *The Future of Rural Energy Is Hybrid Renewable Systems*. 2021 [12.08.2023]; Available from: https://www.engineeringforchange.org/news/future-rural-energy-hybrid-renewable-systems/.

Posibilități de eficientizare energetică a sectorului agricol

În timp ce cererea globală de energie este în creștere, resursele de energie fosilă ale lumii se epuizează rapid. Gazele cu efect de seră eliberate în atmosferă ca urmare a producției și consumului de energie joacă un rol semnificativ în degradarea ecosistemelor. Pentru ca o economie să se dezvolte în mod durabil, este esențial ca aceasta să poată obține energia de care are nevoie în mod constant și fiabil, fiind în același timp rentabilă și ecologică. În plus, este esențial să se utilizeze energia în mod eficient și eficace pentru a satisface nevoile energetice. În acest sens, eficiența energetică joacă un rol esențial, deoarece afectează multe procese, de la producerea resurselor la consumul acestora [1, 2].

Eficiența energetică este procesul prin care se găsesc modalități de a utiliza mai puțină energie, menținând în același timp același nivel de producție și servicii [3]. Eficiența energetică este „primul combustibil" cel mai curat și mai puțin costisitor care răspunde cererii noastre crescânde de energie. Eficiența energetică este esențială pentru securitatea energetică și gestionarea resurselor. Aceasta înseamnă creșterea productivității și a ocupării forței de muncă. Ea presupune combaterea schimbărilor climatice. Reprezintă asistență pentru dezvoltarea rurală. Este o componentă esențială în reducerea deficitului de cont curent. Eficiența energetică este unul dintre domeniile care trebuie abordate cu precauție din cauza relației sale directe cu durabilitatea creșterii economice și cu obiectivele de dezvoltare socială, precum și a rolului critic pe care îl joacă în reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră [4, 5].

Eficiența energetică

Capacitatea de a efectua muncă este definită ca energie. Eficiența energetică este definită ca fiind reducerea consumului de energie pe unitate sau cantitate de produs fără a reduce standardele de viață sau calitatea serviciilor în clădirile de locuințe, precum și calitatea și cantitatea producției în întreprinderile industriale și în agricultură [3]. Eficiența energetică, într-un context mai larg, se referă la toate măsurile de creștere a eficienței, cum ar fi prevenirea pierderilor de energie în sistemele care utilizează gaz, abur, căldură, lumină, aer și electricitate, recuperarea și utilizarea diferitelor deșeuri sau reducerea cererii de energie fără a reduce producția prin tehnologii avansate, surse de energie mai eficiente, procese avansate și recuperări de energie. Eficiența energetică este o componentă cheie a politicilor multor țări dezvoltate [6,7].

Studiile de eficiență energetică sunt efectuate pentru a îmbunătăți sau, dacă este posibil, pentru a elimina complet utilizarea inutilă a energiei prin identificarea punctelor de utilizare a energiei care nu sunt necesare. Eficiența energetică nu implică scăderea sau restricționarea cererii de energie; mai degrabă, se referă la scăderea cantității de energie consumată per produs, decât la rata de consum de energie [7].

O altă componentă esențială a eficienței energetice este măsurarea sau calculul. Au fost dezvoltate multe metode de măsurare a eficienței energetice. În forma sa cea mai elementară, eficiența energetică poate fi calculată prin compararea randamentului producției cu cantitatea de energie utilizată în procesul de producție. De exemplu, cantitatea de energie necesară pentru a produce o unitate de produs poate fi utilizată pentru a determina dacă energia este utilizată în mod eficient. În urma calculelor, eficiența energetică poate fi interpretată prin găsirea unei valori între 0% și 100% [2].

Eficiența energetică în agricultură

În agricultură se utilizează energie în fiecare etapă a procesului de producție, inclusiv pentru crearea și aplicarea de substanțe chimice, funcționarea diferitelor echipamente, cum ar fi tractoarele, roabele, cultivatoarele etc., încălzirea serelor, a clădirilor și a grajdurilor pentru animale, precum și pentru furnizarea de apă. Eficiența energetică este o preocupare critică pentru agricultori care nu poate fi

ignorată. Energia, un input crucial în producție, este utilizată în mod eficient la un nivel scăzut, necesitând mai puțin input din partea fermierilor și crescând profitul realizat din producție [8].

Agricultura implică utilizarea de mașini. Aceste utilaje funcționează cu ajutorul unor surse de energie precum benzina, motorina și păcura. Procesele de încălzire și de extracție a apei utilizează ambele energie electrică. Pentru fabricarea produselor agrochimice, a echipamentelor agricole și diferitelor structuri, agricultura utilizează, de asemenea, energie în mod indirect. Îngrășămintele anorganice pe bază de azot sunt fabricate folosind o cantitate considerabilă de gaz natural [9].

Diverse tehnologii și resurse pot fi utilizate în activitățile agricole pentru a îmbunătăți eficiența energetică, pentru a îmbunătăți situația financiară, pentru a reduce consumul de energie și pentru a reduce impactul asupra mediului. Atunci când sunt implementate corect, măsurile de eficiență energetică pot ajuta producătorii agricoli să economisească energie, menținând în același timp productivitatea. Politicile eficiente, cum ar fi formarea în domeniul eficienței energetice și stimulentele, pot ajuta fermierii să își îmbunătățească operațiunile [10].

Diverse tehnologii și resurse pot fi utilizate în activitățile agricole pentru a îmbunătăți eficiența energetică, condițiile economice, pentru a reduce consumul de energie și pentru a reduce impactul asupra mediului. Sunt necesare diferite abordări ale gestionării energiei în diferite părți ale sectorului agricol. Exploatațiile agricole diferă nu numai ca mărime ci și capacitate financiară. Fermele variază în funcție de geografie și climă. Acești parametri fizici influențează împreună nevoile energetice ale unui fermier. Climatele reci, de exemplu, necesită un consum mai mare de energie pentru încălzire, în timp ce climatele mai calde necesită un consum mai mare de energie pentru aer condiționat și controlul climei [11, 12].

Există mai multe provocări în ceea ce privește creșterea eficienței energetice în agricultură. Diferențele geografice, de climă și structură industrială, precum și lipsa de informații și de acces la capitalul necesar pentru a pune în aplicare îmbunătățiri ale eficienței, toate acestea reprezintă bariere. Programele naționale menite să elimine aceste impedimente au jucat un rol important în impulsionarea pieței către echipamente și practici mai eficiente [8].

Aplicații ale eficienței energetice în agricultură

Ca și în alte sectoare, reducerea costului energiei în produsele agricole este esențială. Vehiculele agricole, serele, uscătoarele, clădirile, sistemele de irigare și echipamentele agricole fac parte din operațiunile zilnice ale unei ferme agricole sau de creștere a animalelor și pot duce la costuri energetice ridicate [13]. Prin utilizarea eficientă a energiei, este posibil să se reducă costurile energetice fără a diminua calitatea sau eficiența produselor. Utilizarea eficientă a energiei în activitățile agricole poate fi asigurată printr-o varietate de politici și practici. Eficiența în întreprinderile agricole poate fi obținută prin conservarea energiei, precum și prin utilizarea eficientă a resurselor naturale [14, 15].

Este esențial să se dispună de informații despre consumul de energie. Auditul energetic se referă la întregul studiu care constă în etapele de colectare a informațiilor, măsurare, evaluare și raportare pentru creșterea eficienței energetice. Auditul energetic include, de asemenea, măsurarea tuturor fluxurilor de energie și a utilizării energiei în cadrul întreprinderii pentru a include bilanțul energetic total, care va servi drept bază pentru planurile și aplicațiile de eficiență energetică [16].

Înainte de a lua în considerare măsuri de eficiență energetică în agricultură, este necesar să se înțeleagă unde și cum se produc pierderile de energie, precum și cauzele acestor pierderi. Consumul de energie în agricultură include atât consumul de energie directă, cât și indirectă, asociată cu toate tipurile de inputuri utilizate pentru a produce produse agricole. Determinarea și înregistrarea intrărilor de energie ale întreprinderii, precum și elaborarea planurilor energetice necesare, sunt esențiale

pentru eficiența energetică. Aceste cifre se bazează pe producția medie sau pe cele mai bune estimări. Ca urmare, se identifică punctele de consum ridicat de energie și se planifică aplicațiile corespunzătoare [17, 18].

Sistemele existente trebuie să fie întreținute periodic. Verificarea luminilor, a serpentinelor și a ventilatoarelor pentru praf, înlocuirea garniturilor și întreținerea cazanelor, de exemplu, poate îmbunătăți performanța echipamentelor și pot reduce nevoia de forță de muncă și costuri suplimentare [17, 19].

Exemple de practici de eficiență energetică în agricultură sunt următoarele.

Încălzire: În funcție de activitate, încălzirea poate avea un impact semnificativ asupra unei întreprinderi agricole, oferind o oportunitate semnificativă de economisire a energiei. Cantitatea de energie utilizată pentru încălzire este deosebit de mare în sere [20]. Controlul temperaturii este esențial pentru reducerea cantității de energie utilizată în acest scop. Termostatele trebuie instalate în zone în care nu vor fi afectate de frig sau de lumina soarelui. Cazanele și țevile ar trebui să fie întreținute în mod regulat. Ar trebui să se evite pierderile de căldură în clădiri, hambare și structuri de depozitare [17].

Vehicule agricole: Utilizarea motorinei de către utilaje reprezintă o parte semnificativă a energiei directe în agricultură, în special în cazul culturilor arabile și al furajelor pentru creșterea intensivă a animalelor. Prin urmare, o întreținere și o utilizare atentă a vehiculelor agricole va îmbunătăți semnificativ eficiența energetică. Pentru gestionarea energiei este esențial să se reducă cantitatea de combustibil utilizată în lucrările solului și în alte aplicații pe câmp. Acest lucru necesită optimizarea utilizării tractoarelor și a uneltelor/mașinilor în aplicațiile din câmp. Operațiunile de câmp, cum ar fi împrăștierea îngrășămintelor și semănatul, pot fi combinate pentru a reduce numărul de treceri pe câmp [13]. Este esențial să se schimbe filtrele, să se schimbe uleiul, să se umfle anvelopele, să se ajusteze balansul, să se calculeze necesarul de putere și să se determine cele mai bune condiții de funcționare pentru vehiculele utilizate în câmp. Trebuie monitorizate presiunea din pneuri și eficiența combustibilului. Greutatea în exces a vehiculelor ar trebui redusă pentru a reduce consumul de combustibil. De asemenea, este necesar să se înțeleagă caracteristicile de conducere ale vehiculului pentru a maximiza eficiența combustibilului [17, 21]. În cazul în care ferma are rezervoare de combustibil, acestea ar trebui să fie ținute la rece și verificate în mod regulat pentru a detecta dacă nu există scurgeri, pentru a reduce evaporarea combustibilului. Utilizarea încălzitoarelor pentru a menține motoarele în stare bună de funcționare pe timp de iarnă este mai puțin costisitoare decât utilizarea combustibilului pentru a încălzi motorul. Vehiculele care merg la ralanti pot consuma până la 20% din consumul total de combustibil, astfel încât mașinile ar trebui oprite atunci când nu sunt utilizate [13, 14].

Iluminat: Clădirile agricole, serele, adăposturile de păsări și hambarele necesită iluminat. Sistemele de iluminat natural nu utilizează energie pentru a asigura iluminarea. Pentru iluminatul natural se folosesc panouri transparente, care pot lua forma unor tuburi luminoase [16]. În zonele în care lumina naturală este insuficientă, se utilizează surse de lumină suplimentare. Sursele de lumină tradiționale sunt ineficiente și generează multă căldură radiantă. Prin urmare, ar trebui să se prefere becurile LED pentru iluminatul eficient din punct de vedere energetic, deoarece acestea utilizează mai puțină energie și durează mai mult decât becurile cu incandescență, fără a reduce productivitatea. Becurile LED pot fi utilizate în hambare, cotețe de păsări și clădiri agricole, pe lângă sere [22]. În plus, sistemul de control automat al iluminatului asigură faptul că luminile sunt aprinse doar atunci când este necesar, obținându-se cel mai eficient nivel de iluminare cu cele mai puține lumini [17].

Ventilație: Ventilația reprezintă aproximativ 14% din totalul facturilor de energie din industrie. Identificarea și punerea în aplicare a îmbunătățirilor sistemului de ventilație poate reduce consumul

de energie cu până la 20%. O ventilație eficientă este esențială pentru orice fermă, dar aceste ventilatoare pot consuma multă energie, în special când vremea este caldă. Dacă este posibil, este recomandată folosirea ferestrelor și ușilor care să permită o ventilație naturală. Ca urmare, ventilatoarele sunt oprite sau funcționează mai rar. Înlocuirea ventilatoarelor ineficiente cu altele mai eficiente reduce consumul de energie și economisește bani. În lipsa unei întrețineri adecvate, eficiența sistemelor de ventilație poate fi redusă cu până la 60%, ceea ce duce la creșterea costurilor de funcționare și la riscul de defecțiune [17]. Din acest motiv, este esențială menținerea paletelor și a grilelor ventilatoarelor curate. Fluxul de aer este împiedicat de substanțe precum praful, scamele și altele, care se lipesc de suprafețe. Motoarele ventilatoarelor cu invertor pot beneficia, de asemenea, de acționări cu frecvență variabilă pentru a îmbunătăți eficiența, a reduce consumul de energie și a prelungi durata de viață a motorului [14, 15].

Irigare: Orice sistem de irigare utilizează energie electrică. Sistemele de adăpare a animalelor și de irigare pot fi realizate astfel încât să utilizeze mai puțină energie. În funcție de numărul de animale din fermă, adăpătoarele pentru animale trebuie să fie izolate corespunzător și să aibă dimensiuni adecvate Alegerea pompelor potrivite, irigarea cu presiune joasă, irigarea prin picurare și optimizarea sistemului de distribuție sunt esențiale pentru irigarea culturilor. Duzele de aspersoare de joasă presiune pentru irigarea culturilor reduc cerințele de pompare fără a reduce debitul de apă. Aceste sisteme au o viață mult mai lungă și furnizează apă într-un mod mai eficient din punct de vedere al costurilor. Aplicarea prin aspersiune de joasă înălțime și aplicarea de precizie de joasă înălțime sunt două dintre cele mai eficiente tehnici de irigare. Aceste procedee utilizează mai puțină apă și consumă mai puțină energie.

Este important ca adăpătoarele pentru animale să aibă consum energetic redus sau să fie fără consum de energie, să păstreze apa proaspătă și să prevină înghețarea. Pompele electrice oferă o fiabilitate mai mare, costuri de funcționare mai mici și o eficiență mai bună atunci când înlocuiesc pompele de irigare diesel. Dezavantajul acestor pompe este potențiala nevoie de energie electrică trifazată pentru motoarele mari. În acest scop, pot fi utilizate convertoare de fază rotative, care convertesc energia monofazată în energie trifazată. Sistemele de irigații pot deveni mai eficiente cu ajutorul senzorilor inteligenți. Aceștia pot măsura umiditatea solului și pot determina când trebuie udate culturile. De asemenea, aceștia pot detecta deficiențele de nutrienți din sol și pot determina când trebuie să aibă loc fertilizarea [13, 23].

Uscare: În unele cazuri, uscarea unei culturi consumă mai multă energie decât cultivarea acesteia. Pentru a asigura uscarea produsului, trebuie utilizat un aparat de măsurare a umidității. În cazul în care este necesară uscarea mecanică, se poate folosi aerul natural sau un sistem de uscare la temperaturi scăzute [13].

Îmbunătățirea eficienței energetice în cadrul fermei necesită, de obicei, investiții mai mici decât instalarea unor noi sisteme de producție de energie. Inovațiile în materie de eficiență energetică în agricultură trebuie să fie dezvoltate și puse în practică. Dezvoltarea și implementarea măsurilor integrate de eficiență energetică este, de asemenea, esențială pentru durabilitatea producției. Eficiența energetică la fermă și în întregul lanț de aprovizionare va contribui la atenuarea efectelor creșterii costurilor energetice pentru căldură, electricitate, gaz și combustibili lichizi [13, 17].

Directiva Uniunii Europene privind eficiența energetică

Ca parte a pachetului „Fit for 55”, UE a încheiat negocierile interinstituționale privind un cadru juridic îmbunătățit pentru eficiența energetică și a prezentat o directivă revizuită privind eficiența energetică, care a fost adoptată oficial la 24 iulie 2023 [24]. Directiva revizuită stabilește un obiectiv de reducere a consumului final de energie la 11,7 % pentru 2030 pentru statele membre ale UE. În plus, națiunile UE și-au stabilit obiectivul de a crește rata medie anuală de economisire a energiei de la 0,8% în prezent

la 1,49% între 2024 și 2030. În acest cadru, se urmărește creșterea economiilor de energie în industrii cruciale precum construcțiile, industria, agricultura și transporturile [24]. Prin introducerea unei serii de măsuri care să contribuie la avansarea practicilor de eficiență energetică, această directivă reflectă prioritatea ridicată pe care UE o acordă eficienței energetice [24].

Bibliografie

1. FAO, *Energy, agriculture and climate change towards energy-smart agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations.* 2016.
2. Kavaz, İ., *Sürdürülebilirlik Politikaları Çerçevesinde Enerji Verimliliği, SİYASET, EKONOMİ VE TOPLUM ARAŞTIRMALARI VAKFI (SETA)*. 2019: İstanbul.
3. EnVer. *Enerji Verimliliği Nedir?* 2023 [12.08.2023]; Available from: https://www.enver.org.tr/enerji-verimliligi.
4. IEA, *Energy Efficiency*, International Energy Agency, Editor. 2023, Energy Information Administration: Paris.
5. Liu, J., et al., *Energy Efficiency, Energy Conservation and Determinants in the Agricultural Sector in Emerging Economies.* 2021. **11**(8): p. 773.
6. YILDIZ, A., S. AKGÜL, and S. GÜVERCİN, *Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları.* Journal of Advanced Technology Sciences, 2017. **7**(1).
7. ETKB, *Enerji Verimliliği Eğitim Kitabı*, E.v.T.K.B.E.V.v.Ç.D. Başkanlığı, Editor. 2023: Ankara.
8. Levine, A., *Energy Efficiency in Agriculture: A Review of the Role of the Federal Government and State and Private Entities An Alliance to Save Energy White Paper.* Alliance to Save Energy 2012.
9. Pimentel, D., *Handbook of Energy Utilization In Agriculture*. 2017: CRC Press, Taylor & Francis.
10. AgrEE, *Energy Saving Measures in Agriculture – Overview on the Basis of the National Reports. Agriculture and Energy Efficiency (AGREE). Project Deliverable 2.3.* 2013.
11. Wang, W., et al., *Overcoming Barriers to Agriculture Green Technology Diffusion through Stakeholders in China: A Social Network Analysis.* Int J Environ Res Public Health, 2020. **17**(19).
12. Pereira, F., N.S. Caetano, and C. Felgueiras, *Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation.* Energy Reports, 2022. **8**: p. 454-461.
13. Stephen Herbert, M.H., Carrie Chickering-Sears, Sarah Weis, Jacqui Carlevale, Katie Campbell-Nelson, *Fact Sheet: Energy Conservation and Efficiency.* University of Massachusetts Amherst, Center for Agriculture, Food, and the Environment, Extension Crops, Dairy, Livestock, Equine, 2021.
14. Susser, J. *Energy Efficiency Opportunities in Agriculture*. Advanced Energy 2018 [14.08.2023]; Available from: https://www.advancedenergy.org/2018/09/14/energyefficiencyagriculture/.
15. Beyaz, A., et al., *Tarımsal Üretimde Enerji Verimliliğinin Planlanması ve Sağlanması*, in *8. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı* 2017: Türkiye.
16. Can, O., *Kullanici Tarafi Enerji Verimliliği ve Yönetimi Hizmetleri: Hasat 2 Projesi İP-4 Raporu*. 2023.
17. Carbon Trust, *Energy efficiency in agriculture: Sector guide*. 2019: UK.
18. Snow, S., C. Clerc, and N. Horrocks, *Energy audits and eco-feedback: Exploring the barriers and facilitators of agricultural energy efficiency improvements on Australian farms.* Energy Research & Social Science, 2021. **80**: p. 102225.
19. Bekhet, H.A. and A.J.I.B.R. Abdullah, *Energy use in agriculture sector: input-output analysis.* 2010. **3**(3): p. 111.
20. Iddio, E., et al., *Energy efficient operation and modeling for greenhouses: A literature review.* 2020. **117**: p. 109480.
21. Mutlu, N., *Tarımsal Üretim İçin Entegre Kaynak Verimliliği.* Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat 2021, 2020. **20**: p. 293-298, DOI: 10.31590/ejosat.782364.
22. Singh, D., et al., *LEDs for energy efficient greenhouse lighting.* 2015. **49**: p. 139-147.
23. Iliev, I., et al., *Energy Efficiency and Energy Management Handbook*. Bulgaria Energy Efficiency for Competitive Industry Financing Facility (BEECIFF): Project Preparation, Capacity Building and Implementation Support, ed. I.K. Iliev. 2012.
24. EU, *Energy Efficiency Directive*, D.-G.f. Energy, Editor. 2023: Brussels.

CUPRINS

1. Sisteme de Cultură Rezistente la Schimbările Climatice 1

Introducere, parametrii și avantaje ale sistemelor de culturi rezistente la schimbările climatice 3

Schimbările climatice și impactul general asupra agriculturii 10

Strategii de agricultură durabilă și sisteme de culturi rezistente la schimbările climatice 16

Sisteme de lucrări în cadrul culturilor rezistente la schimbările climatice și efectul rotației culturilor, a culturilor de acoperire și celor premergătoare 24

Utilizarea culturilor marginale în scopul producției alimentare 32

Culturi alternative pentru producerea de biomasă 42

Culturi intercalate și agroforestiere 49

Serviciile ecosistemice în cadrul sistemelor de culturi reziliente la schimbările climatice 58

2. Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea terenurilor și a îngrășămintelor și măsuri de protecție împotriva schimbărilor climatice 65

Efectele schimbărilor climatice asupra proprietăților solului 67

Bugetul de carbon al solurilor agricole 75

Efectele schimbării categoriei de folosință a terenurilor asupra stocurilor de carbon din sol 87

Efectul proprietăților solului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră 95

Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea îngrășămintelor 103

Efectele aplicării varului asupra emisiilor de gaze cu efect de seră din solurile agricole 115

Facilitarea sustenabilității fertilizării prin perspectiva schimbărilor climatice 122

Combaterea defrișării, deșertificării și eroziunii 131

3. Utilizarea noilor tehnici de irigații pentru producții sustenabile și protejarea resurselor de apă în condițiile schimbărilor climatice 140

Irigațiile în condițiile schimbărilor climatice 142

Necesitatea irigării culturilor 147

Irigarea prin scurgere la suprafață 155

Irigarea prin aspersiune 161

Irigarea prin picurare 167

Managementul și programarea udărilor 174

Reutilizarea apei pentru irigații 181

Însămânțarea norilor 187

4. Recomandări privind managementul integrat al dăunătorilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice **..... 192**

Managementul integrat al dăunătorilor 194

Măsuri de combatere a dăunătorilor 200

Optimizarea utilizării produselor de protecție a plantelor în agricultură 210

Îmbunătățirea cunoașterii și disponibilității de a adapta și utiliza tehnicile de protecție integrată a plantelor 215
Promovarea de strategii avansate pentru protecția integrată a plantelor 221
Reducerea utilizării pesticidelor în producția agricolă 226
Scăderea impactului negativ asupra mediului și oamenilor 232
Creșterea producției agricole și a autosuficienței alimentare 237
5. Creșterea animalelor în condiții de schimbare climatică 244
Impactul direct al schimbărilor climatice asupra producției animaliere 246
Impactul indirect al schimbărilor climatice asupra producției de animale 256
Efectele directe ale producției de animale asupra emisiilor de gaze cu efect de seră 262
Efectele indirecte ale producției de animale asupra emisiilor de gaze cu efect de seră 270
Strategii de limitare a efectelor 278
Strategii de adaptare a animalelor – răspunsuri ale animalelor 292
Strategii de adaptare umană 303
Posibilități pentru încurajarea și implementarea strategiilor de limitare și adaptare la schimbările climatice 313
6. Îmbunătățirea eficienței energetice și furnizării de energie regenerabilă în sectorul agricol .320
Energie 322
Agricultura sustenabilă 329
Utilizarea energiei în sectorul agricol 334
Producerea de energie în sectorul agricol: bioenergie 340
Managementul energetic în producția agricolă 349
Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură I 354
Aplicații ale energiei regenerabile în agricultură II 361
Posibilități de eficientizare energetică a sectorului agricol 368
CUPRINS 373

CLIMATE FOCUSED AGRICULTURAL VOCATIONAL EDUCATION

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Funded by the European Union

9 786061 384075