

CZU: 631.46:574.4

DOI: 10.46727/c.v1.18-19-03-2023.p156-160

MICROBIOMULUI SOLULUI: CONTRIBUȚII LA SERVICIILE ECOSISTEMICE

THE SOIL MICROBIOME: CONTRIBUTIONS TO ECOSYSTEM SERVICES

Laurenția Artiomov, dr., cerc.șt. coordonator
Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al UTM

Laurenția Artiomov, PhD, coord. sc. researcher
Institute of Microbiology and Biotechnology of TUM
ORCID: 0000-0002-4478-4375, laurentia.artiomov@imb.utm.md

Abstract. *The article represents a review of some scientific articles that reflect the theme of the contribution of the soil microbiome to ecosystem services. Ecosystem services are the benefits that people derive from ecosystems. Humans tend to improve their well-being by altering ecological processes in order to maximize the production of specific ecosystem services, and often cause unintended and undesirable side effects. Soils provide and regulate a large number of ecosystem services and play an important role in sustaining humanity. The ecosystem services provided by soil arise from complex interactions between ecological structures and processes and are inconceivable without the participation of microorganisms. Microorganisms have stimulatory or inhibitory effects on plants by releasing metabolites with a broad spectrum of action. Microbial communities are primarily responsible for soil homeostatic capacities to remove contaminants and provide key ecosystem-supporting and regulatory services, such as soil fertility, resilience and resistance to various types of stress.*

Keywords: *soil microbiome, ecosystem services, plant growth promotion, soil decontamination.*

Introducere

Serviciile ecosistemice reprezintă beneficiile pe care populațiile umane le obțin, direct sau indirect, din funcțiile ecosistemului, inclusiv bunuri și servicii. Rezultatele produselor ecosistemice apar din interacțiunea proceselor biotice și abiotice. Solul este extrem de important pentru biodiversitatea ecosistemului și joacă un rol în productivitatea ecosistemului. Solurile au fost studiate și clasificate destul de larg după caracteristicile fizice și chimice însă cunoștințele despre biodiversitatea microorganismelor și funcționarea solului sunt încă incomplete. Componentele microbiomului solului care sunt eterogene, au o diversitate taxonomică mare și potențialul metabolic înalt, reprezintă elemente cheie în medierea numeroaselor cicluri și reacții biogeochimice din sol. Comunitățile microbiene sunt vitale pentru funcționarea solului ecosistemelor naturale și a celor gestionate, contribuie la o gamă largă de servicii ecosistemice. Microbiomul solului este implicat în ciclul nutrienților și degradarea materiei organice, el poate influența biodiversitatea și productivitatea ecosistemelor supraterane. Microorganismele pot avea efecte stimulatorie sau inhibitoare asupra plantelor prin eliberarea de metaboliți cu o gamă variată de activități. Microbiomul este principalul responsabil pentru capacitățile homeostatice ale solului de îndepărtare a contaminanților și de furnizare de servicii cheie de reglementare, sprijinire a ecosistemelor, cum ar fi fertilitatea solului, reziliența și rezistența la diferite tipuri de stres.

Rezultate și discuții

Biodiversitatea și productivitatea ecosistemului. Biodiversitatea sporește stabilitatea și productivitatea ecosistemului. Acest fapt a fost verificat pe scară largă pentru comunitățile de plante,

datorită numeroaselor dovezi acumulate timp de peste 200 de ani de studii, dintre care majoritatea s-au bazat pe manipularea diversității taxonomice și/sau a diversității grupurilor funcționale [7, p.2]. Deși este larg recunoscut că microorganismele joacă un rol crucial în multe funcții cheie ale ecosistemului implicate în fertilitatea solului și calitatea mediului, importanța diversității microbiene este încă discutată [1, p.11512].

În cadrul comunității microbiene din sol, descompunerea materiei organice este una dintre cele mai redundante funcții, deoarece majoritatea microorganismelor din sol pot fi grupate în linii mari ca heterotrofe. O astfel de redundanță ridicată a fost evidențiată de mai multe studii care au raportat că diversitatea microbială nu a avut nicio influență asupra estimării globale a descompunerii materiei organice pe baza eliberării totale de CO₂ [22, p. 2167]. Cu toate acestea, eliberarea totală de CO₂ provine dintr-o gamă largă de surse de emisie, variind de la compuși organici C labili la recalcitranți, iar capacitățile enzimatiche necesare pentru a degrada compușii recalcitranți, în comparație cu compușii C mai labili, sunt asigurate doar de un mic grup de specii de microorganisme [5, p.210]. Acest lucru sugerează că redundanța funcțională poate scădea odată cu creșterea recalcitranței sursei de carbon și că cuplarea diversității cu ciclul C se poate schimba în consecință. Prin urmare, modificările diversității microbiene nu afectează neapărat intensitatea fluxului general de CO₂ în sine [22, p. 2166], dar, mai degrabă, compoziția acestui flux vizând contribuțiile relative de CO₂ emise din sursele de C labile față de cele recalcitrante. Rezultatele unor cercetători francezi [15, p.10] demonstrează că ciclismul C în sol poate fi mai vulnerabil la schimbările de diversitate microbială decât se aștepta din studiile anterioare. Acestea indică în principal că o scădere a diversității microbiene ale solului a afectat descompunerea atât a surselor de carbon autohtone, cât și alohtone, reducând astfel emisiile globale de CO₂ (adică, emisiile din surse alohtone și autohtone) cu până la 40%. Semnificația efectului diversității crește odată cu disponibilitatea de nutrienți.

Kovacs E.D. [14, p. 12] a studiat legătura microbiotei și proprietăților solului cu funcționarea solului și a încercat o estimare a impactului potențial asupra serviciilor ecosistemice furnizate de sol. Autorul a constatat că activitatea metabolică a solului scade în cazul practicării agriculturii intensive. Aplicarea pesticidelor, de asemenea a diminuat activitatea metabolică a microorganismelor solului cu 34%, iar valorile mici ale indicelui de diversitate Shannon demonstrează că abundența de microorganisme ar putea fi redusă chiar și prin pierderea unor specii din cauza aplicării pesticidelor. Temperaturile ridicate (45°C), înghețul și inundațiile scad semnificativ activitatea metabolică a microbiotei solului.

Microbiomul solului și promovarea creșterii plantelor. Microorganismele solului contribuie la serviciile ecosistemice și prin promovarea creșterii plantelor. În general, bacteriile care promovează creșterea plantelor facilitează dezvoltarea lor atât în mod direct, fie asistând la achiziția de resurse (azot, fosfor și minerale esențiale), fie prin modularea nivelurilor de hormoni vegetali (precum auxinele, citokininele, giberelinele, acidul abscisic și etilena), cât și indirect, acționând ca agenți de biocontrol ai agenților fitopatogeni. Diverse studii au documentat creșterea sănătății și a productivității diferitelor specii de plante prin aplicarea rizobacteriilor care promovează creșterea plantelor atât în condiții normale, cât și în condiții de stres. Procesul de fixare a azotului este mediat de un complex de enzime nitrogenaze, sensibile la oxigen, care transformă azotul atmosferic într-o formă amonică (azot fixat biologic) care este fie pus la dispoziția plantelor, fie eliberat în sol. Solubilizatorii de fosfat mobilizează forme fixe de fosfor deja prezente în sol în forma disponibilă plantei [2 p. 5]. Producerea de siderofori de către bacteriile ce promovează creșterea plantelor (PGPR) ajută planta cu suficient fier în solurile cu deficit de fier [17, p. 719]. Alte efecte benefice asupra creșterii plantelor atribuite PGPR includ ajustarea osmotică, reglarea stomatică, modificarea morfologiei rădăcinilor etc. în condiții de stres abiotic [16, p. 122].

Biocontrolul fitopatogenilor. Mecanismele indirecte de promovare a creșterii plantelor se manifestă sub formă de biocontrol al fitopatogenilor prin competiție pentru nutrienți, liză enzimatică, antibioză, secreție de compuși organici volatili, declanșarea mecanismului de apărare antioxidantă și răspunsul de rezistență sistemică indusă în planta gazdă [12 p.508]. Majoritatea agenților de biocontrol bacterieni sunt din genul *Bacillus*, *Bacillus thuringiensis* fiind cel mai utilizat agent de control biologic bacterian împotriva fungilor fitopatogeni și insectelor. Derivații săi se găsesc în peste 70% dintre biopesticidele bacteriene *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Thiobacillus* și *Pseudomonas* sunt alte genuri de bacterii cu proprietăți antibiotice *in vitro* și *in vivo* [13, p.8]. Biopesticidele bacteriene, ca majoritatea agenților de biocontrol, sunt prietenoase cu mediul și sunt ieftin de dezvoltat și pot fi la fel de eficiente ca pesticidele sintetice.

Microorganismele eficiente, sau microorganismele ce promovează creșterea plantelor, sunt culturi mixte de organisme benefice naturale care pot fi aplicate ca inoculanți pentru creșterea diversității microbiene a ecosistemului solului. Există dovezi că inocularea cu EM în sol poate îmbunătăți calitatea solului, creșterea plantelor și randamentul [11, p.133]. Datorită activităților lor active de susținere a creșterii, rizobacteriile ce promovează creșterea plantelor sunt considerate o alternativă ecologică la îngrășămintele chimice periculoase. Utilizarea lor ca biofertilizatori este o abordare biologică a intensificării durabile a agriculturii. Cu toate acestea, aplicarea lor pentru creșterea randamentelor agricole are mai multe avantaje și dezavantaje. Aplicarea potențialilor biofertilizatori care funcționează bine în condiții de laborator și de seră nu reușește adesea să producă efectele așteptate asupra dezvoltării plantelor în mediul de câmp [4, p. 14]. Diferite tulpini de rizobacterii ce stimulează creșterea plantelor (PGPR) sunt capabile să mărească randamentul culturilor, să prezinte control biologic, să sporească rezistența la agenții patogeni foliari, să promoveze formarea nodozităților la leguminoase. PGPR raportate includ membri ai genurilor *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Agrobacterium*, *Allorhizobium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azorhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Pseudomonas* etc. [19, p.12]

Bioremedierea solului poluat cu pesticide. Comunitățile microbiene ale solului asigură în mare măsură capacitățile homeostatice prin îndepărtarea contaminanților. Astfel, grație proceselor la care participă, microbiomul solului contribuie la prestarea serviciilor ecosistemice ale solului precum cele de sprijin, reglementare și furnizare [18, p.1474].

Contaminarea solului este o problemă în continuă creștere că îngrijorează societatea din perspective societale, economice și de mediu. Contaminanții de cea mai mare îngrijorare sunt hidrocarburile petroliere, metalele grele, pesticidele, erbicidele și hidrocarburile clorurate [8, p.2]. *Bioremedierea* este un proces mediat de microorganisme și reprezintă o modalitate durabilă și ecologică de a degrada și detoxifica contaminanții din mediu. Comunitățile microbiene ale solului devin în mod clar o componentă cheie a bioremedierii, deoarece sunt mai stabile și mai eficiente decât culturile pure.

Compușii organici recalcitranti prezenți în solurile contaminate cu păcură pot duce la o scădere a redundanței funcționale în microbiomii solului. *Ecopilingul* este o tehnică pasivă de bioremediere care implică biostimularea degradatorilor de hidrocarburi indigeni, bioaugmentarea prin inoculare cu consorții ce posedă activitate de degradare a petrolului și fitoremedierea. Analiza membrilor cheie ai comunității solului contaminat cu păcură a relevat o compoziție surprinzător de diversă a comunității microbiene în solul. S-a constatat că comunitatea bacteriană din sol este dominată de *Alphaproteobacteria* (60-70%), cu cele mai abundente genuri precum *Lysobacter*, *Dietzia*, *Pseudomonas* și *Extensimonas*. M. Wang și coautorii [21, p.14] au constatat că, deși genul *Lysobacter* a fost identificat ca fiind cel mai abundent gen bacterian, în toate probele de sol

contaminat, datele metagenomice nu au putut confirma rolul acestui grup în degradarea petrochimică. În schimb, genurile cu abundență relativ scăzută, cum ar fi *Dietzia*, *Pusillimonas* și *Bradyrhizobium* au avut gene implicate în degradarea compușilor alifatici sau aromatici.

Unele pesticide, cum ar fi cele organoclorate, prezintă o preocupare critică pentru mediu, deoarece sunt foarte persistente datorită naturii lor chimice stabile. În consecință, chiar și după interzicere, diclorodifeniltriclorețanul și endosulfanul pot fi detectate la concentrații peste limitele admise [3, p.8]. Degradarea pesticidelor agricole în sol este realizată în principal de microorganisme [20, p. 306]. Microorganismele din sol produc enzime care pot descompune pesticidele agricole sau alte substanțe toxice din sol. Igbal M. [10, p.166] și colaboratorii au demonstrat că unele izolate bacteriene și fungice posedă o capacitate semnificativă de a realiza degradarea pesticidelor, aceste culturi au fost identificate ca *Acinetobacter radioresistens*, *Pseudomonas frederiksbergensis*, *Bacillus pumilus*, *Serratia liquefaciens*, *Serratia marcescens*, *Burkholderia gladioli* printre bacterii și *Aspergillus niger austral.*, *Trichosporon*, *Verticillium dahliae* printre ciuperci.

Degradarea clasică a pesticidelor prin procese fizico-chimice este limitată. Alternativ, biodegradarea folosind microorganisme izolate din locuri contaminate pare promițătoare. De exemplu, bacteria *Pseudomonas fluorescens* degradează aldrina cu 94,8%, iar ciuperca *Ganoderma lucidum* poate reduce nivelul de lindan cu 75,5% [6, p.3209]. Toxicitatea pesticidelor este redusă și de enzimele care efectuează oxidarea, reducerea, hidroliza, dehidrogenarea, dehalogenarea și decarboxilarea. Apoi, metaboliții sunt degradați în continuare prin mineralizare și cometabolism. Procesul de biodegradare poate fi manipulat prin aplicarea unor tehnici precum bioatenuarea, bioaugmentarea și biostimularea.

Bioaugmentarea. Procesul de bioaugmentare implică inocularea în sol a unor consorții microbiene sau tulpini unice, prin creșterea diversității microbiene. În acest fel, microorganismele cu capacități metabolice specifice promovează procesele de biodegradare. Doolotkeldieva și colab. [9, p. 31859], a studiat decontaminarea bacteriană a solurilor poluate cu pesticide din zonele de deversare și au testat degradarea pesticidului aldrină. Rezultatele au demonstrat că tulpinile de bacterii cu gene specifice (citocromul P450), și anume *Pseudomonas fluorescens* și *Bacillus polymyxa*, au fost capabile să degradeze aldrina într-un timp relativ scurt.

Datele metagenomice pot oferi o cantitate imensă de informații despre potențialul genetic al comunităților microbiene din sol de a degrada un poluant, permițând cercetătorilor să determine ce membri ai comunității pot degrada poluanții în momentul prelevării probelor.

Concluzii

Capacitatea microorganismelor din sol de a susține o varietate de servicii ecosistemice este de interes din ce în ce mai mare, dar înțelegerea legăturii dintre serviciile ecosistemice ale terenuri agricole și microbiomul solului în diferite sisteme de management agricol este încă limitată. Din păcate, multe funcții benefice ale microbiomului solului sunt în prezent amenințate din cauza schimbării modelelor climatice și a precipitațiilor, degradarea solului și practicile slabe de gestionare a terenurilor. Optimizarea microbiomului asociat plantelor ar putea îmbunătăți furnizarea de servicii ecosistemice. Dezvoltarea de tehnologii verzi alternative în stimularea creșterii plantelor, controlul dăunătorilor și agenților patogeni este o necesitate de moment care ar trebui să fie accelerată pentru a stimula serviciile ecosistemice ale solului și a putea hrăni populația umană în creștere cu perturbări minimaliste pentru ecosistemele naturale deja reduse. Sunt necesare cercetări pentru a identifica modul în care se poate manipula și gestiona microbiomul solului pentru a îmbunătăți eficiența remedierii și a crește fertilitatea solului în același timp.

Bibliografie

1. ALLISON, S. D., MARTINY, J. B. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008, 105 (supplement_1), 11512-11519. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801925105>

2. ALORI, E.T., GLICK, B.R., BABALOLA, O.O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*. 2017, 8, 971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
3. AKTAR, W., SENGUPTA, D., CHOWDHURY, A. (2009) Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisc Toxicol*. V.2, 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
4. BASU, A., PRASAD, P., DAS, S. N., KALAM, S., SAYYED, R. Z., REDDY, M. S., EL ENSHASY, H. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*. 2021, 13(3), 1140, <https://doi.org/10.3390/su13031140>
5. BAUMANN, K., DIGNAC, M. F., RUMPEL, C., BARDOUX, G., SARR, A., STEFFENS, M., MARON, P. A. Soil microbial diversity affects soil organic matter decomposition in a silty grassland soil. *Biogeochemistry*. 2013,114, 201-212. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9800-6>
6. BOSE, S., KUMAR, P.S., VO, DV.N. *et al.* Microbial degradation of recalcitrant pesticides: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021, 19, 3209–3228 <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01236-5>
7. DELGADO-BAQUERIZO, M., MAESTRE, F. T., REICH, P. B., JEFFRIES, T. C., GAITAN, J. J., ENCINAR, D., SINGH, B. K. Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems. *Nature Communications*. 2016, 7, 10541. <https://doi.org/10.1038/ncomms10541>
8. DEVATHA, C. P., VISHNU VISHAL, A., AND PURNA CHANDRA RAO, J. Investigation of physical and chemical characteristics on soil due to crude oil contamination and its remediation. *Applied Water Science*. 2019, 9 (4), 89. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0970-4>
9. DOOLOTKELDIEVA, T.; KONURBAEVA, M.; BOBUSHEVA, S. Microbial communities in pesticide-contaminated soils in Kyrgyzstan and bioremediation possibilities. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25, 31848–31862. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0048-5>
10. IQBAL, M. A., BARTAKKE, K. V. Isolation of pesticide degrading microorganisms from soil. *Adv Biores*. 2014, 4, 164-168. <https://doi.org/10.15515/abr.0976-4585.5.4.164168>
11. HAN, H.S., SUPANJANI, E, LEE, K.D. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant Soil Environ*. 2006, 52(3), 130–136. <https://doi.org/10.17221/3356-pse>
12. HEIL, M., BOSTOCK, R. M. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defences. *Annals of botany*. 2002, 89(5), 503-512. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf076>
13. KOSKEY, G., MBURU, S. W., AWINO, R., NJERU, E. M., MAINGI, J. M. Potential use of beneficial microorganisms for soil amelioration, phytopathogen biocontrol, and sustainable crop production in smallholder agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021, 130. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606308>
14. KOVÁCS E.D. Global change impact on soil property, functioning and provided ecosystem services PhD THESIS. 2020, 19 p. <https://www.usamvcluj.ro › uploads › 2020/03>
15. MARON, P. A., SARR, A., KAISERMANN, A., LÉVÊQUE, J., MATHIEU, O., GUIGUE, J., RANJARD, L. High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 2018, 84(9), e02738-17. <https://doi.org/10.1128%2FAEM.02738-17>
16. NGUMBI, E., KLOEPPER, J. Bacterial-mediated drought tolerance: current and future prospects. *Applied Soil Ecology*. 2016, 105, 109-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.009>
17. SHARMA, M., MISHRA, V.RAU, N., SHARMA, R.S. Increased iron-stress resilience of maize through inoculation of siderophore-producing *Arthrobacter globiformis* from mine. *Journal of basic microbiology*. 2016, 56, 719–735. <https://doi.org/10.1002/jobm.201500450>
18. ŠURDA, P., LICHNER, L., NAGY, V., KOLLÁR, J., IOVINO, M., HOREL, Á. Effects of vegetation at different succession stages on soil properties and water flow in sandy soil. *Biologia*. 2015, 70, 1474-1479. <https://doi.org/10.1515/biolog-2015-0172>
19. SWARNALAKSHMI, K., YADAV, V., TYAGI, D., DHAR, D. W., KANNEPALLI, A., KUMAR, S. Significance of plant growth promoting rhizobacteria in grain legumes: Growth promotion and crop production. *Plants*. 2020, 9(11), 1596. <http://dx.doi.org/10.3390/plants9111596>
20. TOPP, E. Bacteria in agricultural soils: Diversity, role and future perspectives. *Canadian journal of soil science*. 2003, 83(Special Issue), 303-309. <https://www.webofscience.com/wos/WOSCC/full-record/000184799500008>
21. WANG, M., GARRIDO-SANZ, D., SANSEGUNDO-LOBATO, P., REDONDO-NIETO, M., CONLON, R., MARTIN, M., GERMAINE, K. J. Soil microbiome structure and function in ecopiles used to remediate petroleum-contaminated soil. *Frontiers in Environmental Science* 2021, 9, 39. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.624070>
22. WERTZ, S., DEGRANGE, V., PROSSER, J. I., POLY, F., COMMEAUX, C., FREITAG, T., ROUX, X. L. Maintenance of soil functioning following erosion of microbial diversity. *Environmental microbiology*. 2006, 8(12), 2162-2169. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01098>