

---

TEZĂ DE DOCTORAT

# **Impactul schimbării globale asupra proprietății solului, funcționării și furnizării de servicii ecosistemice**

---

Doctorand ing. **Kovács Emőke - Dalma**

---

Conducători de doctorat:

**Prof. Dr. Ing. Rusu Teodor**

**Prof. Dr. Hab. Dr. H. C. Szajdak Lech Wojciech**

---





## Cuprins

- I.      Introducere**
- II.     Structura tezei**
- III.    Scopul și obiectivele cercetării**
- IV.    Metodologia cercetării**
- V.     Rezultatele cercetării**
- VI.    Concluzii generale**
- VII.   Referințe principale**



## INTRODUCERE

Solul este un component critic al ecosistemului terestru, care se confruntă cu presiunile induse de schimbările globale (Gaillard et al., 2015; Tang et al., 2016; Jitareanu et al., 2006; Liu et al., 2018). Fiind o resursa non-regenerabilă (Marcon et al., 2018; Rusu et al., 2017; Szajdak et al., 2002; Tecon and Or, 2017) precum și un furnizor semnificativ de servicii ecosistemice (Peng et al., 2015), prin care susține viața și dezvoltarea omenirii, acesta necesită o atenție specială pentru găsirea soluțiilor de atenuare și/sau adaptare la factorii schimbărilor globale. În prezent există o lipsă generală în cunoașterea modului în care factorii ai schimbărilor globale pot modifica sau altera proprietățile solului (Allen et al., 2011; Bach et al., 2018; Rusu et al., 2014) cu implicații asupra funcționării acestuia (Noronha et al., 2017), precum și furnizării serviciilor ecosistemice (Kourtey et al., 2002).

Buna funcționare a solului este asigurată de proprietățile abiotice și biotice al acestuia. Deși cunoașterea despre modul în care schimbările globale ar putea modifica proprietățile fizico-chimice ale solului sunt disponibile (Holstein et al., 2009; Altonen et al., 2019), există puține informații despre modul în care microbiota solului ar putea fi modificată sau deteriorată de presiunile derivate din schimbările globale. Microbiota solului este un element cheie al ecosistemului solului, mediind numeroase reacții în sol (chimice, biochimice etc.). Acțiunile reprezentative ale microbiotei solului se referă la ciclul nutrienților, descompunerea materiei organice, degradarea poluanților, etc. fiind baza exercitării funcțiilor solului. Datorită reacțiilor pe care le mediază, microbiota solului este considerată ca și contributor în furnizarea serviciilor ecosistemice ale solului precum cele de sprijin, reglementare și furnizare (Surda et al., 2015; Szajdak et al., 2016).

Presupunând că schimbările în structura și abundența microbiotei solului vor conduce la modificări ale proprietății și funcționării solului, cu consecințe asupra furnizării serviciilor ecosistemice de către sol, obiectivul principal al acestei teze a fost de a găsi răspunsuri cu privire la modul în care factorii schimbărilor globale ar putea afecta proprietățile solului, funcționarea și furnizarea serviciilor ecosistemice, cu o atenție specială asupra implicațiilor microbiotei solului.

## STRUCTURA TEZEI

Această teză cuprinde șapte capitole. Primul capitol se referă la provocările la care este supus ecosistemul sol (secțiune de revizuire a literaturii). Al doilea capitol prezintă obiectivele acestei teze, urmate de capitole dedicate descrierii metodelor de cercetare aplicată, prezentarea rezultatelor obținute, discuții, concluzii și noutatea tezei.

Secțiunea de revizuire a literaturii (**capitolul 1**) abordează subiecte legate de: ecosistemul solului, schimbările globale, modificarea proprietăților solului în condițiile provocărilor schimbărilor globale, microbiota solului și serviciile ecosistemice ale

solului, considerând influența factorilor abiotici și biotici, sub provocările factorilor aduși de schimbările climatice globale.

Al **doilea capitol** prezintă cele trei obiective principale ale acestei teze. **Capitolul trei** este dedicat zonelor de studiu și descrierii modului de eșantionare. În această parte a tezei sunt prezentate detaliile geografice ale zonelor studiate, procedurile de prelevare a probelor de sol și experimentele de laborator aplicate, cum ar fi: experimente pe coloane de sol; experimente cu rhizo-box; și experimente în camere climatice.

Al **patrulea capitol** al tezei descrie metodele de cercetare aplicate. Este format din patru părți principale, dintre care *prima este* dedicată modului de analiză a structurii și abundenței microbiotei solului; a *doua* prezintă metodele analitice aplicate pentru evaluarea profilului fiziologic al microbiotei solului. În a *treia* parte a acestei secțiuni sunt detaliate metodele aplicate pentru evaluarea biochimică a solului (evaluarea activității enzimatică extracelulare a solului) și evaluarea proprietăților chimice (conținut de carbohidrați, amino acizi, etc.). *Ultima parte* a acestei secțiuni este dedicată metodelor geostatistice aplicate pentru evaluarea distribuției indicatorilor de calitate de interes al solului. Mai exact, sunt prezentate cinci metode de interpolare geostatistică. Acestea sunt: *kriging*, *inverse power to a distance*, metoda *Shepard modificată*, metoda *minimum curvature* și *radial basis function*.

**Capitolul cinci** include rezultatele obținute și discuțiile aferente. Acestea sunt prezentate în cele șase secțiuni principale și se referă după cum urmează, la: structura și abundența microbiotei solului în biomurile studiate; influența factorilor abiotici asupra microbiotei solului; influența factorilor biotici asupra microbiotei solului: alelopatia vegetală și compuși exudați de rădăcinile plantelor; influența utilizării și gestionării terenului asupra funcționării solului; modul în care factorii care determină schimbările climatice influențează funcționarea solului; și în sfârșit, modul în care schimbările globale determină un potențial impact asupra funcționării solului și furnizării serviciilor ecosistemice, cu implicarea microbiotei solului.

Capitolul următor (**capitolul șase**) prezintă concluziile obținute și scurte recomandări propuse, pe baza studiilor efectuate. Acestea sunt urmate de o ultima secțiune (**capitolul 7**) în care sunt evidențiate aspectele de noutate și originalitate ale tezei.

## SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI

Obiectivul general al tezei este „**Evaluarea impactului schimbărilor globale asupra proprietăților, funcționării și furnizării serviciilor ecosistemice ale solului**”

Obiectivele specifice vizate au fost următoarele:

**2.1. Evaluarea calității și proprietăților actuale ale solului din diferite regiuni geospațiale și climatice, cu o atenție specială asupra structurii și abundenței comunității microbiotei solului.** Prin această teză s-a propus colectarea datelor despre heterogenitatea

microbiotei solului din diferite regiuni climatice și geospațiale din România, pe baza modului de folosință a terenului (pădure, pășune, teren agricol, plantație viticolă, livadă). Diferite metode de interpolare au fost testate ca estimatori geo statistici pentru predicția distribuției structurii comunității microbiotei și a altor proprietăți definitorii ale solurilor studiate. Având în vedere chimia solului și vegetația de bază, a fost realizată distribuția geospațială a structurii și al abundenței microbiotei, cu scopul de a înțelege factorii care reglementează distribuția lor în diferite sisteme de sol. Au fost, de asemenea, luate în considerare modificările compoziției microbiotei solului pe adâncime (până la 50 cm).

**2.2. Evaluarea impactului schimbărilor globale asupra microbiotei solului și a nivelului lor de răspuns la acești factori.** Au fost stabilite relații între structura comunității microbiotei și factorii motori ai schimbării globale precum presiuni antropice (modul de gestionare a solului, poluare, etc.) și factori ai schimbărilor climatici (variații neregulate, anomalii sezoniere, evenimente extreme). Au fost efectuate experimente în laborator pe întreaga comunitate și din izolate ale microbiotei, luând în considerare expunerea lor în condiții controlate la principalii factori de schimbare globală identificați. Au fost studiate diferențele dintre abundența microbiotei în solurile și rizosfera culturilor de cereale (porumb, grâu) și legume (tomate).

**2.3. Stabilirea conexiunilor dintre microbiota și proprietățile solului importante pentru funcționarea solului în scopul estimării impactelor potențiale asupra serviciilor ecosistemice furnizate de sol.** Au fost stabilite conexiuni între serviciile de suport mediate de microbiota solului și influența factorilor de schimbare globală asupra principalelor substanțe nutritive și componente organice ale substratului solului. De asemenea, a fost studiat impactul factorilor de schimbare globală asupra degradării potențialilor contaminanți ai solului de către microorganisme.

## **METODOLOGIA CERCETĂRII**

Componentele microbiotei solului, prin heterogeneitatea lor, diversitatea taxonomică ridicată și potențialul metabolic, sunt elemente cheie în medierea numeroaselor cicluri și reacții biogeochemice din sol (Cojniak et al., 2015). Astfel, microbiota este considerată ca un indicator reprezentativ al stării proceselor ecologice din sol (Rusu et al., 2009). În această teză a fost determinată abundența și structura comunității microbiotei solului prin analiza acizilor grași derivați de fosfolipide (PLFA) (Vestal et al., 1989; Cojniak et al., 2015). Acizii grași derivați din lipide neutre au fost folosiți pentru evaluarea schimbărilor în diferite grupuri fenotipice, în timp ce acizii grași derivați din glicolipide au fost utilizați pentru evaluarea nivelului de dezvoltare al grupelor majore bacteriene și fungice. Acest lucru a fost efectuat în dorința de a înțelege modificările microbiotei

solului (structura comunității, abundența, acizii grași din membranele celulare, etc.) cauzate de presiunile factorilor de schimbare la nivel global. Necesitatea depășirii acestui decalaj de cunoștințe este dată de faptul că modificările potențiale ale microbiotei solului ar putea modifica funcționarea solului și furnizarea serviciilor ecosistemice. Utilizarea acestor indicatori de microbiomi ai solului ar putea contribui la crearea unui sistem de avertizare timpurie a potențialelor pierderi ale acestor servicii și funcții susținute de sol.

În timp ce efectele factorilor de schimbare globală asupra proprietăților fizico-chimice ale solului pot fi observate în timp, microbiota solului răspunde la orice schimbare a mediului într-o perioadă mult mai scurtă (Wu et al., 2017). Determinarea fenotipică a structurii și abundenței comunității solului oferă informații numerice despre membrii dominanți ai micro-biodiversității solului. Astfel, evaluarea funcțională a comunității microbiotei solului în condițiile provocărilor cauzate de schimbările globale este necesară pentru a putea înțelege mai bine funcționarea lor sub presiunile externe și pentru a putea anticipa potențialele modificări ale funcțiilor solului și furnizarea serviciilor ecosistemice. Pentru a atinge obiectivele propuse ale acestei teze, funcționarea microbiotei solului și profilul fiziologic au fost evaluate pe baza: (a) răspunsului metabolic mediu și a analizei diversității metabolice al microbiotei prin consumul exclusiv al surselor de carbon, azot și si fosfor (CLPP, profilul fiziologic la nivel de comunitate); (b) analizei respirației bazale (BR) și al celei induse de substrat (SIR).

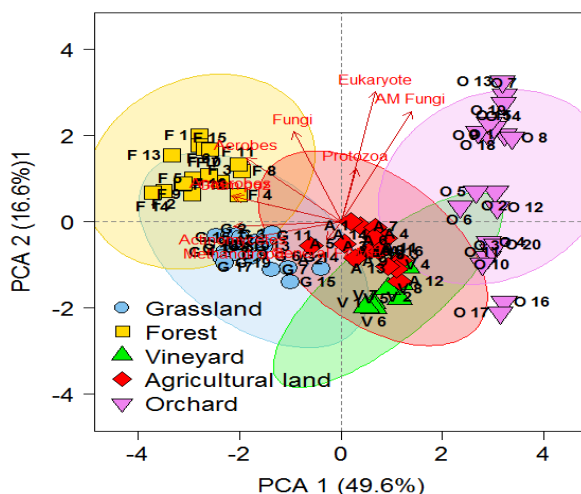
Proprietățile biochimice și chimice ale solului au fost, de asemenea, evaluate pentru o mai bună înțelegere a proceselor, funcțiilor solului și a serviciile ecosistemice furnizate de sol. Enzimele sunt componente importante care acționează ca și catalizatori în descompunerea materiei organice a solului și în ciclul nutrienților. În comparație cu structura microbiotei solului sau cu caracteristici fiziologice, care se referă la activități potențiale, enzimele sunt direct conectate cu activitățile din sol, acest tip de rezultat oferind informații din momentul eșantionării. Prin această teză au fost studiate activități enzimatică legate de descompunerea materiei organice și ciclul nutrienților. Aceste enzime au fost: catalază, fosfatază, dehidrogenază, invertază, amilază, urează, aril sulfatază, fenol oxidaza și  $\beta$ -glucozidază. Pentru evaluarea lor au fost aplicate analize titrimetrice și *microplate*. Analizele *microplate* implică patru etape majore: activarea plăcii de godeu, reacția și extracția enzimei, și cuantificarea acestora.

Pentru o evaluare adecvată a impactului factorilor de schimbare globală asupra funcționării solului și a serviciilor ecosistemice furnizate, diferite proprietăți fizico-chimice ale solului au fost analizate în cadrul acestei teze. Pentru interpretarea corectă a datelor obținute despre proprietățile solului au fost aplicate diferite modele geostatistice. Modelele geostatistice testate au fost interpolarea *kriging*, *inverse distance to a power*, *modified Shepard's method*, *minimum curvature method*, și *radial basis function*.



## REZULTATELE CERCETĂRII

Deoarece microbiota solului este considerată o componentă esențială al ecosistemului terestru, a fost evaluată variația abundenței dintre biomi studiați. Au fost observate variații atât în structură cât și în abundență pentru siturile de eșantionare studiate. Analiza componentelor principale **Figura 1.**, a explicat variația totală cu 66,2% ( $p = 0,001$ ) dintre abundențele microbiotei a diferiților biomi, PC1 explicând 49,9% și PC2 16,6%. Diferențele au fost relevante, după cum urmează, pentru probele colectate din pădure (0,909) urmate de cele colectate din livezi (0,855), terenuri agricole (0,731), pajiști (0,728), respectiv plantații viticole (0,716).

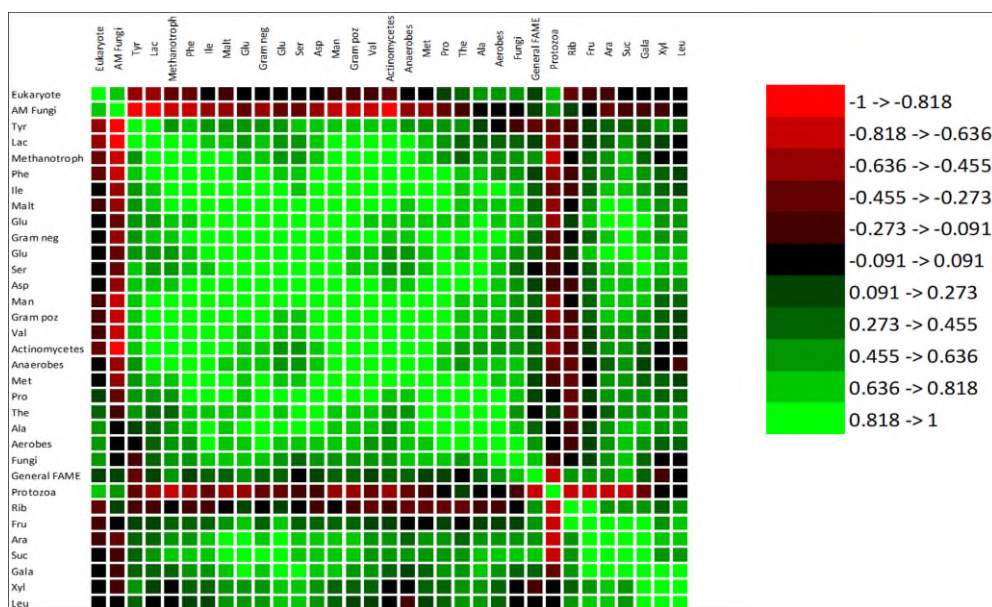


**Figura 1.** Analiza componentelor principale al microbiotei solului în funcție de modul de utilizare al terenurilor agricole.

La nivelul structurii comunității microbiotei, valoarea medie a bacteriilor totale din biomiurile studiate au fost după cum urmează: pădure (342,1 nmol·g<sup>-1</sup> dw) > pășune (240,2 nmol·g<sup>-1</sup> dw) > livadă (141,1 nmol·g<sup>-1</sup> dw) > plantație viticolă (137,8 nmol·g<sup>-1</sup> dw) > teren agricol (106,3 nmol·g<sup>-1</sup> dw). În cele cinci biomiuri studiate, valoarea medie a abundenței fungice, exprimată ca sumă dintre fungiile microrize arbusculare, saprotrofice, ectomicorizale și altele, variază între 3,2 și 6,3 nmol·g<sup>-1</sup> dw. Valori mai mari au fost detectate în probe de sol colectate din pădure și livadă.

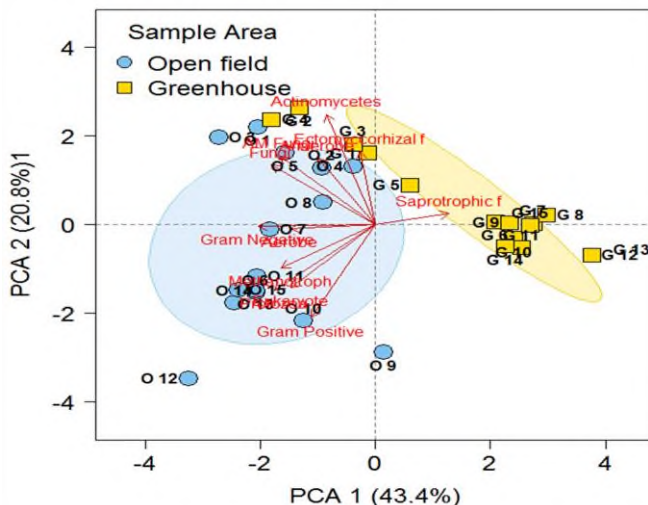
Proprietățile solurilor studiate diferă semnificativ prin mediul biomiilor. În pajiști s-a

observat influența pozitivă a carbonului organic (0,377) și a raportului C: N (0,547) asupra comunităților de fungi și bacterii, în timp ce temperatura (0,619) a influențat negativ comunitatea protozoarelor. Pe solurile din păduri, s-a observat ca umiditatea (0,585) are un impact pozitiv asupra comunității de fungii, în timp ce temperatura (0,612) și carbonul organic (0,478) au afectat eucariotele în mod negativ. În podgorie s-a putut observa că raportul C: N (1.107) are un impact negativ asupra comunităților de bacterii. În cazul terenurilor agricole proprietățile solului ca pH (1,286), raportul C: N (0,611), umiditatea (0,754) și conținutul de carbon organic (0,601) au influențat negativ comunitățile bacteriene și fungice. În livadă, comunitățile bacteriene au fost influențate pozitiv de raportul C: N (0,266), umiditate (0,187), materia organică a solului (0,536) și carbonul organic. Matricea de corelație Pearson (**Figura 2**) a arătat o corelație slabă sau nicio corelație între protozoare, eucariote, fungii și FAME și conținut de carbohidrați și aminoacizi din sol, în timp ce bacteriile gram-negative și bacteriile gram-pozitive se corelează puternic cu majoritatea acestor compuși.

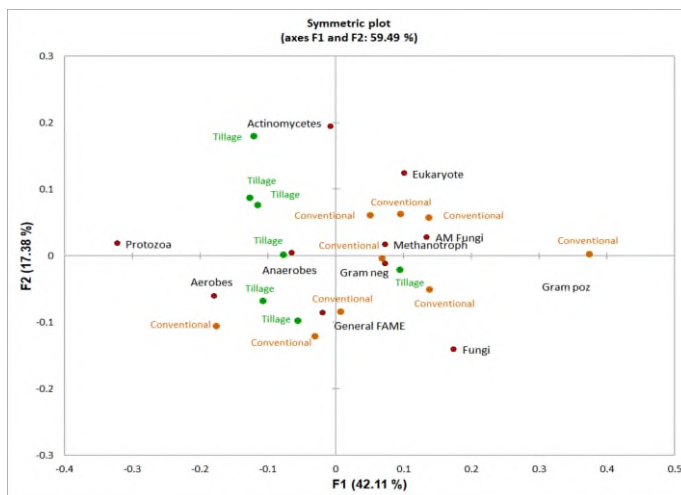


**Figura 2:** Matricea corelației Pearson dintre structura microbiotei solului și conținutul de carbohidrați și amino acizi din sol

Practicile de management influențează atât structura microbiotei solului, cât și proprietățile solului. Analiza componentelor principale pe biomasa totală PLFA a evidențiat separații clare dintre cele măsurate în eșantioanele de teren deschis și cele din seră, a se vedea **Figura 3**. Componentele principale PC1 și PC2 au explicat 43,4 și 20,8 % din variație. Aceste rezultate sunt similare cu cele prezentate de (Babin, 2019; Bonanomi, 2016) și (Legrand, 2018), unde au fost menționate impactul a diferite practici de gestionare a solului asupra microbiotei solului.



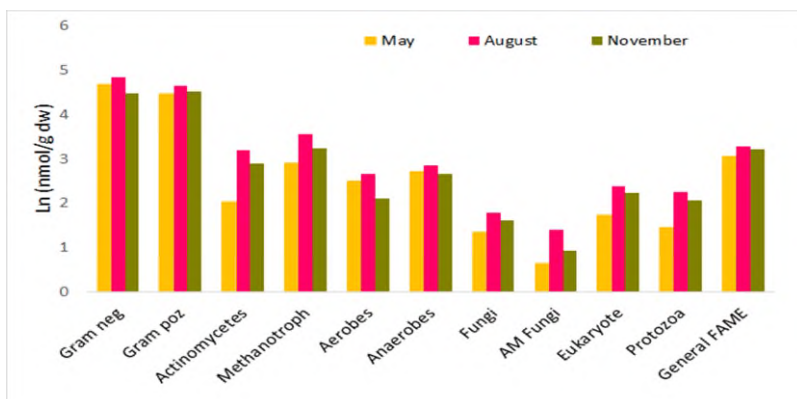
**Figura 3.** Analiza principalelor componente al structurii microbiotei din probe de sol din teren deschis și seră



**Figura 4.** Analiza corespondenței dintre impactul managementului aplicat solului asupra biodiversității

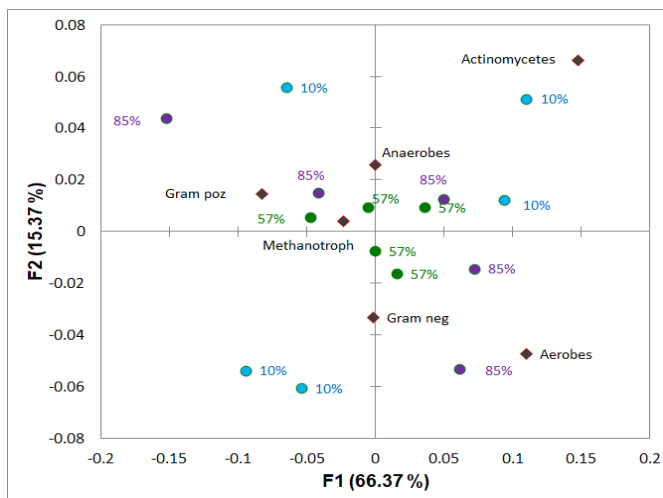
Analiza corespondenței de tip biplot separă în mod clar managementul convențional de cel de tip *conservativ* (**Figura 4**). Primele două componente principale au reprezentat 42,1 și, respectiv, 17,3% din variația totală a probelor. Datele măsurate arată că componentele comunității microbiotelor solului precum bacterii gram pozitive (0,546) și bacterii negative (0,821), bacterii metanotrofe (0,781), eucariote (0,511) și comunitatea fungică (0,502 - 0,492) converg la managementul convențional în timp ce protozoarele (0,84) și bacteriile aerobe (0,601) converg la cel de tip conservativ (**Figura 4**).

Prin această lucrare au fost colectate probe de sol din diferitele anotimpuri. Diferențele de sezon au fost obținute în cazul tuturor biomilor studiați. Toate componentele microbiotei solului s-au schimbat odată cu anotimpul. În general, abundența mai mare a componentelor microbiotei a fost măsurată în perioada de vară - toamnă (**Figura 5**), cu excepția bacteriilor gram pozitive și gram-negative, iar abundența a fost mai mare în sezonul de primăvară în cazul tuturor biomilor studiați.



**Figura 5:** Variația structurii microbiotei pe sezon

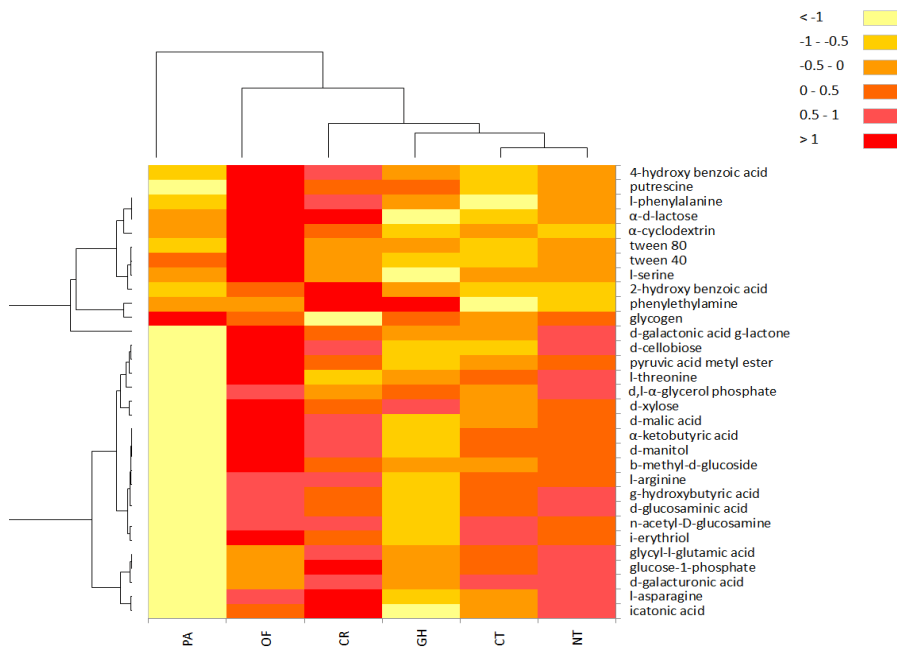
Experimentele de coloană și de schimbările climatice simulate de secetă și inundații au arătat faptul că microbiota solului este mai sensibilă la conținutul de umiditate al solului (**Figura 6**).



**Figura 6:** Analiza corespondenței canonice al structurii microbiotei în condiții de secetă și inundații simulate

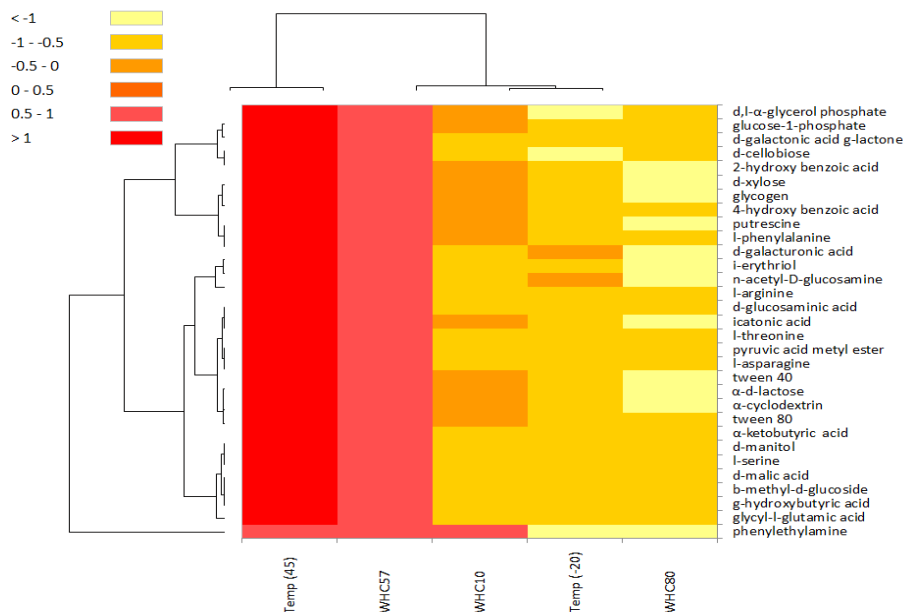
Activitatea metabolică a microbiotei de sol a fost evaluată pe baza probelor de sol unde s-au aplicat diferite practici de management. În **Figura 7** poate fi evaluat modelul de

consum a șase categorii de substraturi (carbohidrați, acizi carboxilici, aminoacizi, amine, compuși fenolici și polimeri) de microbiota din solurile administrate prin adăugare de pesticide (PA), rotația culturilor (CR), seră (GH), câmp deschis (OF), gestionare convențională a solului (CT) și conservativă (NT -cu semănat direct) au fost aplicate. Pentru plăcile inoculate studiate, dezvoltarea medie a culorii godeului (AWCD) variază între 0,624 - 3,254. Conform **Figurii 7**, s-a putut observa că o activitate metabolică mai mică a fost în microbiota solului unde s-au aplicat pesticide (de exemplu, cipermetrin). În acest caz, activitatea metabolică a fost mai mică cu 34 %. Aceasta a fost urmată de managementul aplicat în seră, unde activitatea metabolică a microbiotei a fost mai mică cu 27 %. Activitatea metabolică ridicată a fost înregistrată în probe de sol gestionate pe terenuri deschise și prin rotația culturilor. În condiții de management convențional și *conservativ* al solului, microbiota solului a prezentat o activitate metabolică medie. Carbohidrații au fost cele mai utilizate substraturi, în timp ce amidele și aminele sunt cele mai puține. Aceste date sunt în corelație cu activitățile enzimactice extracelulare ale solului, în care enzimele cu cantitate mai mică implicate în ciclul nutrienților au fost determinate în probele de sol, astfel: OF> NT> CR> CT> GC> PA. Nu s-a observat nici o variație semnificativă în cazul fosfatazei și aril sulfatazei între cele șase tratamente studiate. Indicii metabolici determinați ca indicele de diversitate Shannon ( $H'$ ), indicele de uniformitate Shannon ( $E$ ) și indicele de bogăție a substratului ( $R$ ) au variat în 1,6 - 4,8, 0,71 - 0,95 și 21,2 - 32,4, respectiv după 36 h incubare.



**Figura 7:** Activitatea metabolică a microbiotei solului în diferite condiții de management aplicat solului.

Pentru experimentele care implică camere de schimbare climatică care simulează evenimente de temperatură extremă sau, evenimente de inundații sau secetă extremă, o activitate metabolică scăzută a fost măsurată pentru microbiota probelor de sol expuse la temperaturi scăzute ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) și condiții de inundații (80% WHC) în timp ce pentru secetă s-a înregistrat cea mai mare activitate metabolică (AWCD, 1,3 - 4,29) (**Figura 8**).



**Figura 8:** Activitatea metabolică a microbiotei solului în diferite condiții climatice simulate.

## CONCLUZII GENERALE

Prin această teză au fost studiate presiunile induse de schimbarea globală asupra ecosistemului solului. Deoarece microbiota solului este implicată în numeroase procese ale solului prin care intermediază numeroase servicii ecosistemice ale solului, li s-a acordat o atenție specială. Pentru a atinge obiectivul general al acestei teze, cea de a găsi un răspuns la „*modul în care schimbarea globală are impact asupra proprietăților solului, funcționării și furnizării serviciilor ecosistemice*” au fost efectuate cercetări și experimente legate de obiectivele menționate. Rezultatele obținute legate de fiecare obiectiv specific al tezei ar putea fi rezumate după cum urmează:

**Primul obiectiv.** *Evaluarea calității și proprietăților actuale ale solului din diferite regiuni geospațiale și climatice, cu o atenție specială acordată structurii și abundenței comunității microbiotei solului*

- Prin această teză s-au studiat probe de sol de cinci biomuri din diferite regiuni geospațiale din Transilvania. Mai exact, acestea se referă la pădure, pășune, plantație

viticolă, livadă și terenuri arabile. A fost determinată diferențieri clare în abundența și structura microorganismelor din sol a celor cinci biomi studiați (66,2%, PCA).

- În toate probele de sol a fost evidențiată dominanța bacteriană (G+/G-, aerobe/anaerobe > 0,5; F / B > 0,1).
- Proprietățile abiotice influențează structura și abundența comunității microbiotei din sol, acest lucru a fost explicat de analiza redundanței în cazul a tuturor biomurilor studiași (RDA, F1: 63,5 - 79,7%). Alelopatia plantelor și exudatele rădăcinilor pot modifica distribuția microbiotei solului.

***Al doilea obiectiv. Evaluarea impactului schimbărilor globale asupra microbiotei solului și a nivelului lor de răspuns la acești factori***

- Conversia terenului (câmp deschis în seră) schimbă compoziția microbiotei solului: microbiomul solului în seră (PCA1: 43,5%). Indicii de stres legați de abundența și structura microbiotei au fost mai mari în solurile din seră decât în cele din câmp deschis.
- Tipurile de management aplicat solului afectează componentele microbiotei solului, influențe majore fiind observate asupra comunităților de protozoare, actinomicete și bacterii aerobe. Acest lucru a fost explicat prin analiza corespondenței cu 42,1%. Testul de sensibilitate la fiecare clasă fenotipică a susținut această observație.
- Variația sezonieră modifică structura microbiotei solului. Experimentele artificiale în camerele climatice au arătat schimbări în structura și abundența comunităților de fungii și bacterii la temperaturi negative extreme. Cu toate acestea, experimentele au relevat, de asemenea, că componentele microbiotei pot rezista la temperaturi de -24 - 20 °C. Experimentele din camera climatică la temperaturi ridicate (> 35 °C) au relevat rezistența bacteriană.
- Experimentele pe coloană cu condiții de secetă și inundații simulate au arătat o sensibilitate mai mare a microbiotei solului la umiditatea solului.

***Al treilea obiectiv. Conectarea microbiotei și proprietățile solului cu funcționarea solului și estimarea impactului potențial asupra serviciilor ecosistemice furnizate de sol.***

- Activitatea metabolică a solului poate fi redusă printr-un management intens practicat pe terenurile agricole.
- Metabolizarea microbiotei solului este puternic afectată atunci când pesticidele sunt utilizate pe câmpurile terestre (activitatea metabolică este mai mică cu 34%). Indice de diversitate scăzut al Shannon sugerează că abundența de microbiote ar putea fi redusă chiar și prin pierderea unor specii din cauza aplicării pesticidelor.
- Având în vedere evenimentele climatice extreme simulate, activitatea metabolică ridicată a microbiotei solului a fost observată atunci când probele de sol au fost expuse la temperaturi ridicate (45 ° C). Starea de inundații sau condițiile de îngheț scad semnificativ activitatea metabolică a microbiotei solului.

## PRINCIPALE REFERINTE BIBLIOGRAFICE

1. Altonen H., M. Palviainen X. Zhou E. Koster F. Berninger J. Pumpanen K. Koster (2019). "Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition after forest fire in Canadian permafrost region." *Journal of Environmental Management*.
2. Allen D.E., P.B. Singh R.C. Dalal (2011). "Soil health indicator under climate change: a review of current knowledge." In: *Soil Health and Climate Change*, Springer, 25–48.
3. Babin D., A. Deubel S. Jacquirod S.J. Sorensen J. Geistlinger-R. Grosch-K. Smalla (2019). "Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities." *Soil Biology and Biochemistry* 129, 17–28.
4. Bach E.M., R.J. William S.K. Hargreaves F. Yang K.S. Hofmockel (2018). "Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats." *Soil Biology and Biochemistry* 118, 217–226.
5. Bonanomi G., F. Fillipis G. Cesarano A. Storia D. Ercolini-F. Scala (2016). "Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions." *Soil Biology and Biochemistry* 103, 327–336.
6. Chojniak J., D. Wasilkowski G. Plaza A. Mrozik-R. Brigmon (2015). "Application of biology microarrays techniques for characterization of functional diversity of microbial community in phenolic-contaminated water." *Int. J. Environ. Res* 9(3), 785–794.
7. Egea T.C., R. Silva M. Boscolo J. Rigonato D.A. Monteiro D. Grunig H. Silva F. Wielen R. Helmus J. Parsons-E. Gomes (2017). "Diuron degradation by bacteria from soil of sugarcane crops." *Heliyon* 3(12).
8. Gaillard M.J., T. Kleinen-P. Samuelsson A.B. Nielsen J. Bergh J. Kaplan A. Poska C. Sandstrom G. Strandberg A.K. Trondam-A. Wramneby (2015). "Causes of Regional Change – Land Cover. In Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin". In: BACC II Author Team, 453–477.
9. Holstein A., T. Vetter-K. Vohland V. Krysanova (2009). "Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas." *Ecological Modelling* 220, 2076–2087.
10. Jitareanu G., C. Ailincăi-D. Bucur (2006). "Influence of Tillage Systems on Soil Physical and Chemical Characteristics and Yield in Soybean and Maize Grown in the Moldavian Plain (North – Eastern Romania)". *Soil Management for Sustainability*, 370–379.
11. Kourtev P.S., J.G. Ehrenfeld-M. Haggblom (2002). "Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil". *Ecology* 83 (11), 3152–3166.
12. Legrand F., A. Picot-F.J. Cobo-Diaz M. Carof W. Chen G. Floch (2018). "Effect of tillage



- and static abiotic soil properties on microbial diversity." *Applied Soil Ecology* 132, 135–145.
13. Liu D., Y. Huang-H. Sun P. Bhople Z. Chen (2018). "Soil physicochemical characteristics and microbial characteristics of contrasting land-use types along soil depth gradients." *Catena* 162, 345–353.
14. Maron P.A., A. Sarr-A. Kaisermann J. Leveque O. Mathieu J. Guigue-B. Karimi L. Bernard S. Dequiedt S. Terrat-A. Chabbi L. Ranjard (2018). "High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning." *Applied and Environmental Microbiology* 84(9).
15. Noronha M.F., G.V.J. Lacerda-J.A. Gilbert V.M. Oliveira (2017). "Taxonomic and functional patterns across soil microbial communities of global biomes." *Science of the Total Environment* 609, 1064–1074.
16. Peng J., Y. Liu-J. Wu H. Lv X. Hu (2015). "Linking ecosystem services and landscape patterns to assess urban ecosystem health: a case study in Shenzhen City, China". *Landscape Urban Plan.* 143, 56–68.
17. Rusu T., C.L. Coste P.I. Moraru L.W. Szajdak A.I. Pop B.M. Duda (2017). "Impact of climate change on agro-climatic indicators and agricultural lands in the Transylvanian Plain between 2008-2014." *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 12(1), 23–34.
18. Rusu T., P. Gus I. Bogdan P.I. Moraru A.I. Pop D. Clapa D.I. Marin I. Oroian L.I. Pop (2009). "Implications of Minimum Tillage Systems on Sustainability of Agricultural Production and Soil Conservation." *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7 (2), 335–338.
19. Rusu T., P. Moraru C. Coste H. Cacovean F. Chetan C. Chetan. (2014). "Impact of climate change on climatic indicators in Transylvanian Plain, Romania." *Journal of Food, Agriculture & Environment* 12(1), 469–473.
20. Surda P., L. Lichner V. Nagy-J. Kollar-M. Iovino-A. Horel (2015). "Effects of vegetation at different succession stages on soil properties and water flow in sandy soil." *Biologia* 70, 1474–1479.
21. Szajdak L.W., V. Maryganova E. Skakovskii-L. Tychinskaya (2016). "Transformations of organic matter in soils under shelterbelts of different ages in agricultural landscape." In: Szajdak, Lech Wojciech (ed.) *Bioactive Compounds in Agricultural Soils*. Springer International Publishing House AG. Switzerland.
22. Szajdak L.W., V. Maryganova T. Meysner-L. Tychinskaja (2002). "Effect of shelterbelt on two kinds of soils on the transformation of organic matter." *Environment International* 28(5), 383–392.
23. Tang Z., Q. Huang Z. Nie-Y. Yang-J. Yung-D. Qu J. Cheng (2016). "Levels and distribution of organochlorine pesticides and hexachlorobutadiene in soils and terrestrial organisms from a former pesticide-producing area in Southwest China." *Stochastic Environmental research and Risk Assessment* 30(4), 1249–1262.
24. Tecon R., D. Or (2017). "Biophysical processes supporting the diversity of microbial

- lifein soil." *FEMS Microbiology Reviews*, New York 41(5), 599–623.
25. Vestal J.R., D.C. White (1989). "Lipid analysis in microbial ecology". *Bioscience* 39 (8), 535–541.
26. Wu Z., W. Lin J. Li J. Liu L. Wu C. Fang Z. Zhang (2016). "Effects of seasonal variations on soil microbial community composition of two typical zonal vegetation types in the Wuyi Mountains." *Journal of Mountain Science* 13(6), 1056–1065.