

TEZĂ DE DOCTORAT

Cercetări privind mecanismul de colonizare micorizian indus de fertilizarea diferențiată în ecosistemul practicol

Doctorand **Larisa Nicoleta CORCOZ** (căs. Petrean)

(REZUMAT AL TEZEI DOCTORALE)

Conducător de doctorat **Prof. dr. Roxana VIDICAN**



REZUMAT

Introducere

În ultimele decenii cercetările s-au orientat pe conservarea biodiversității, care a suferit de pe urma poluării, folosirii excesive a îngrășămintelor minerale și creșterii animalelor, acestea fiind cele mai vizibile activități umane în domeniul agricol. aporturile antropice împreună cu schimbările climatice la modificarea atari de climax a ecosistemelor.

Pajiștile sunt unul dintre cele mai răspândite tipuri de ecosisteme din lume, acoperind o cincime din suprafața Pământului. Aceste ecosistemele apar în mod natural pe toate continentele, cu o suprafață estimată la 52,5 milioane km², sau 40,5% din suprafața terenului, cu excepția Groenlandei și Antarcticii. Acest tip de ecosistem este caracterizat prin predominanța speciilor ierboase și a altor specii, iar utilizarea lor principală este furnizarea de hrană pentru animale. Condiții de mediu nefavorabile precum: cantitatea de nutrienți limitată, regim scăzut de apă și pH-ul solului din ecosistemul de pajiște nu susțin dezvoltarea speciilor de arbori sau arbuști.

În plus față de mediul sărac în nutrienți dominanța ridicată a unor specii din comunitățile de plante pot reduce resursele disponibile celorlalte grupuri biotice, promovând competiția și, prin urmare, reduc diversitatea plantelor. În ecosistemul de pajiști, majoritatea speciilor sunt perene și pot dezvolta un deficit de nutrienți în zona limitrofă rădăcinii, datorită absorbției constante de nutrienți. Această activitate intensă, împreună cu oligotrofia prezentă în pajiști, influențează drastic condițiile ecologice de nișă ale plantelor. Astfel, speciile de pajiști sunt constrânse să adopte diferite strategii pentru a supraviețui presiunii din aceste ecosisteme. Realizarea interacțiunii mutualismului cu ciupercile micoriziene, reprezintă un mecanism biologic viabil pentru ca speciile practice să supraviețuiască și să prezintă o dezvoltare luxuriantă în ecosisteme naturale de pajiști.

Relațiile simbiotice dintre rădăcinile plantelor și ciuperci (definite ca micorize) au fost recunoscute încă de la începutul secolului al XIX-lea. Asociațiile micoriziene sunt omniprezente în toate ecosistemele, cu un număr mare de specii cultivate, majoritatea speciilor de pajiști și chiar din păduri. Ciupercile micoriziene sunt simbioți în rădăcinile majorității plantelor evolute, aproximativ 80% din speciile de plante formând aceste tipuri de asociații. Se formează asocieri micoriziene de aproximativ 40.000-50.000 specii de ciuperci cu aproape 250.000 de specii de plante. Mecanismul simbiotic este dat de procesul prin care hifele fungice aderă la suprafața rădăcinilor plantelor și le colonizează. În urma acestui proces, planta primește o cantitate mai mare de apă și nutrienți, iar la polul opus ciuperca primește o parte din metaboliții asimilați de gazdă prin intermediul procesului de fotosinteză. Pe lângă rolul principal, despre care se discută la scară largă în literatura de specialitate, acela de a suplini aportul de nutrienți pentru plantele gazdă, ciupercile micoriziene intervin în circuitul elementelor și în descompunerea materiei organice. Plantele micoriziene sunt adesea mai rezistente la boli precum cele produse de agenții patogeni microbieni din sol, iar componența fungică induce plantelor vasculare o rezistență îmbunătățită la factori abiotici (apă, temperatură, metale grele) și patogeni.

Ciupercile micoriziene prezente în ecosistemele de pajiști pot fi incluse în patru tipuri, pe baza criteriilor de diferențiere morfologică a țesuturilor radiculare și plantele gazdă: micorize vezicular-arbusculare, ectomicorize, micorize ericoide și micorize orhidacee.

Studiul simbiozei de tip micorizian este un subiect care acoperă mai multe domenii importante, precum: agricultura, horticultura, pedologia și ecologia. Datorită beneficiilor pentru întreg ecosistemul sunt necesare studii mai detaliate pentru a înțelege pe deplin mecanismele micoriziene deoarece pot constitui o sursă biologică de reabilitare și îmbunătățire a ecosistemelor naturale. Majoritatea studiilor de până acum s-au concentrat în principal pe culturi agricole, mecanismele micoriziene din ecosistemele naturale fiind mai puțin studiate.

Obiectivele cercetării

Scopul cercetării a fost studiul influenței fertilizării asupra mecanismului de colonizare micorizian la speciile dominante dintr-o pajiște cu înaltă valoare naturală din Munții Apuseni.

Pentru atingerea scopului tezei au fost studiate următoarele elemente:

O1. nivelul de colonizare nativă pentru fiecare dintre speciile dominante din ecosistemul practicol.

O2. efectul fertilizării diferențiate asupra parametrilor de colonizare micorizieni pentru speciile alese.

O3. elaborarea strategiilor fungice modelate de către diferite tipuri de fertilizare.

O4. Elaborarea și exportarea hărților micoriziene relevante pentru fiecare specie și pentru fiecare tip de fertilizare.

Rezultatele acestei teze au fost publicate în șase articole : primele trei în Jurnale **BDI** (primul în Jurnalul *Research Journal of Agricultural Science*, al doilea în Jurnalul *Romanian Journal of Grassland and Forage Crops*, iar al treilea în jurnalul *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*), iar alte trei articole au fost publicate în Jurnale indexate **ISI**: primul articol a fost publicat în *Jurnalul Plants (Basel)* (**Q1, I. F. 4.658**), al doilea articol ISI a fost publicat în *Jurnalul Agronomy* (**Q1, I.F. 3.949**), iar al treilea articol ISI a fost publicat în *Jurnalul Agriculture* (**Q1, I.F. 3.408**).

Studiile care au vizat obiectivele propuse prin teza de doctorat au fost realizate în câmpul experimental din satul Ghețari, județul Alba, Munții Apuseni, al disciplina Cultura Pajiștilor și a plantelor furajere, Facultatea de Agricultură, USAMV Cluj. Au fost studiate următoarele aspecte: efectul fertilizării organo-minerale asupra apariției și dezvoltării asociațiilor simbiote plantă- ciupercă, evaluarea nivelului de colonizare nativă pentru fiecare dintre speciile dominante din ecosistemul de pajiști și efectelor fertilizării diferențiate asupra parametrilor de colonizare micorizieni. Rădăcinile au fost prelucrate și evaluate în Laboratorul de Microbiologie al Facultății de Agricultură, din cadrul Universității de Științe Agricole și Medicină Veterinară Cluj-Napoca, sub îndrumarea coordonatorului Prof. Dr. Roxana Vidican.

Teza de doctorat intitulată "**Cercetări privind mecanismul de colonizare micorizian indus de fertilizarea diferențiată în ecosistemul practicol**" cuprinde 25 de figuri, 8 tabele și este structurată în două părți principale: studiul actual al cunoașterii conținând trei articole de tip review (**capitolul 1, 2 și 3**) și cercetarea originală conținând ipoteza de lucru/obiectivele (**capitolul 1 din partea a doua**) și metodologiile generale

(capitolul 2), urmat de articolele ce cuprind cercetările proprii **(capitolele 3-5)**, concluziile generale și recomandări **(capitolul 6-7)**, respectiv originalitatea și contribuția inovativă a tezei **(capitolul 8)**.

Prezenta teză evaluează mecanismul de colonizare micorizian indus de fertilizarea diferențiată în ecosistemul praticol pentru două specii dominante.

În ceea ce privește **prima parte („State of the Art” - articole de tip review)**, studiile au fost studiate datele din literatura folosind: Web of Science Core Collection și Google Scholar. Prin acest studiu bibliografic s-a constatat că majoritatea comunităților fungice reprezintă promotori ai bunei dezvoltări a plantele și a stabilității funcțiilor ecosistemului. În ecosistemul de pajiști este necesară analiza simbiozei radulare pentru un număr mare de acțiuni: evaluarea stabilității fitocenozei cu înțelegerea nivelului de micoheterotrofie pentru fiecare specie; extinderea viitoare a plantelor invazive în relație cu succesiunile secundare și terțiare; modele integrative ale interacțiunilor plantă – microorganism – climă și potențialul de supraviețuire în noile condiții climatice, importanța sporită a simbiozelor micorizene de a susține speciile vegetale influențate negativ de oligotrofia din ecosistemele praticole. Ultimul articol de tip review prezintă metodologia utilizată în evaluarea procesului simbiotic.

În ceea ce privește **partea a doua**, aceasta cuprinde elementele experimentale astfel: prelevarea din câmpul experimental din satul Ghețari, a rădăcinilor plantelor din cele două specii analizate: *F.rubra* și *A. capillaris*; procesarea rădăcinilor și analiza acestora s-a realizat în Laboratorul de Microbiologie. Pentru evaluarea procesului simbiotic la speciile dominante folosind MycoPatt. Întreaga analiză a datelor a fost efectuată cu software-ul *R Studio*. Toate pachetele au fost selectate pentru testele specifice, care permit o explorare completă a bazelor de date: „*agricolae*”, „*ape*”, „*psych*”, „*stats*” și „*vegan*”. Testul selectat permite explorarea de suprafață a datelor până la explorarea profundă: histograme de normalitate, statistici de bază, teste comparative ANOVA și LSD, diagrame de dispersie și regresii, analiză cluster și două tipuri de ordonări- PCA vs. NMDS.

Capitolul 3 prezintă modelul de colonizare nativ a fungilor micorizieni. Astfel, studiul a avut ca scop principal utilizarea instrumentul MycoPatt pentru a evalua potențialul micorizian nativ al speciei *Festuca rubra* într-un ecosistem de pajiști montane exploatat prin cosit pe termen lung.

Capitolul 4 prezintă aplicabilitatea instrumentului MycoPatt în evaluarea procesului simbiot fungii-plante. Scopul a fost de a evalua caracteristicile și stabilitatea mecanismului micorizian pentru specia *Festuca rubra* ca răspuns la aplicarea pe termen lung a tratamentelor diferențiate. Astfel am demonstrat că utilizarea hărților micoriziene permite o scanare profundă a rădăcinilor colonizate, identificând poziționarea reală a structurilor fungice, împreună cu potențialul lor de dezvoltare și evaluarea a strategiei de colonizare.

Capitolul 5 prezintă aplicabilitatea instrumentului MycoPatt pentru încadrarea procesului simbiot în diferite strategii. Scopul a fost de a analiza în profunzime colonizarea micoriziană în rădăcinile de *A. capillaris*, modelată de aplicarea pe termen lung a tratamentelor.

În urma experimentelor s-au desprins următoarele concluzii:

1. Colonizarea fungică nativă pentru cele două specii dominante în ecosistemul de pajiște a fost diferită, ceea ce demonstrează impactul major al gazdei în procesul simbiot. În cazul speciei *Festuca rubra* am determinat o colonizare nativă cu o valoare a frecvenței aproximativ 50%, valoare intensității de aproximativ 19%, iar structurile specifice componentei fungice prezintă valori similare. Arbusculii sunt prezenți în procent de 1,95%, iar veziculele în procent de 1,80% în rădăcinile colonizate.
2. Specia *Agrostis capillaris* în condițiile micoriziene native a avut o valoare a frecvenței de colonizare peste 63%, iar intensitatea colonizării a înregistrat jumătate din valoarea frecvenței. Arbusculii au prezentat o valoare de 2,88%, iar valoarea veziculelor a fost stabilită la 1,53%.
3. Tipul de fertilizant precum și dozele acestuia influențează drastic comunitatea fungică și implicit întregul proces simbiotic fungi-plantă. Îngrășămintele organice sunt promotori ai procesului simbiotic, spre deosebire de îngrășămintele minerale influențează negativ colonizarea fungică în cortexul radicular al celor două specii dominante. Fertilizarea organică stimulează mecanismul simbiotic pentru ambele specii, până la 55% frecvență de colonizare la *F. rubra* și 68,27% la *A. capillaris*, și formarea unei rețele mari de arbusculi, până la 3,15% la *F. rubra* și 2,92% la *A. capillaris*, în zona totală colonizată.
4. Capacitatea de depozitare, exprimată prin formarea veziculelor este foarte vizibilă în variantele fertilizate organic, cu 2,13% la *F. rubra* și

- 2,32% la *A. capillaris*, susținută de un grad de colonizare stabilit la 17,72% la *F. rubra* și 31,0% la *A. capillaris*.
5. Variantele fertilizate organo-minerale reduc expansiunea simbioților micorizieni în rădăcinile ambelor plante, cu o frecvență minimă de 35,63% înregistrată pentru *F. rubra* și 30,25% pentru *A. capillaris*.
 6. Plantele fertilizate cu îngrășăminte minerale sau organo-minerale blochează atât dezvoltarea arbusculilor, cât și a veziculelor, cu o reducere a prezenței acestor structuri la mai puțin de 1%, ceea ce limitează mecanismul global de transfer și stocare între parteneri simbioți.
 7. Specia *F. rubra* este mai performantă în utilizarea tratamentelor organice cu conținut scăzut de minerale, cu o frecvență de colonizare cu 9% mai mare decât profilul nativ, comparativ cu specia *A. capillaris*, care înregistrează o valoare cu 16% mai mică decât profilul nativ pentru acest parametru.
 8. În plus, cantitatea de nutrienți accesibili plantelor după fertilizare reprezintă forța motrice în direcționarea procesului simbiotic către anumite strategii. Astfel, fertilizarea diferențiată induce o orientare specifică a strategiei de colonizare în rădăcinile gramineelor. Strategia de colonizare nativă este echilibrată, orientată în principal spre o expansiune proliferativă, urmată de dezvoltarea atât a strategiilor de transfer, cât și de stocare.
 9. Aplicarea îngrășămintelor organice modifică colonizarea spre două strategii clare, în zone diferite ale rădăcinii: una pentru depozitare, bazată pe o pondere mare de vezicule, și una pentru transfer datorită prezenței mari de arbusculi.
 10. Îngrășămintele minerale induc o strategie în condiții de rezistență, cu scăderea potențialului de colonizare și restrângerea formării atât a arbusculilor, cât și a veziculelor.
 11. Hărțile micoriziene sunt o tehnică vizuală importantă pentru proiectarea modelelor și a strategiilor de colonizare, împreună cu poziționarea clară a structurilor micoriziene. Utilizarea hărților exportate din instrumentul MycoPatt este un pas important în înțelegerea mecanismului simbiotic, împreună cu o analiză profundă a funcționalității rădăcinii micorizate, care este inconsecventă de-a lungul întregii rădăcini.

Recomandări

este recomandată Fertilizarea organică pentru creșterea potențialului de colonizare nativ al speciilor *F. rubra* și *A. capillaris*.

Fertilizarea organo-minerala in doza deeste recomandată pentru îmbunătățirea colonizării în cazul speciei *F. rubra*, care utilizează această resursă mixtă ca stimul pentru proliferarea componentelor fungice.

În pajiștile HNV trebuie evitate îngrășămintele minerale din cauza potențialului lor de perturbare a mecanismului de colonizare care restrâng sever dezvoltarea veziculelor și a arbusculilor.

Sistemul și metodologia MycoPatt sunt recomandate pentru analiza mecanismului micorizelor și cuantificarea obiectivă a parametrilor de colonizare, împreună cu exportul de baze mari de date și asamblarea hărților micoriziene.

Selectarea hărților micoriziene se poate realiza pe baza mediei înregistrate, dacă numărul de intrări de date este peste 900, cu extragerea suplimentară a hărților micoriziene cu o valoare a intensității de 25% mai mari și cu 25% mai mici. Dacă baza de date conține mai puțin de 900 de intrări, se recomandă o analiză de grup pentru selectarea celor mai relevante hărți micoriziene.

Pentru ambele cazuri, o etapă importantă în analiza colonizării este extragerea altor două hărți, pentru segmentele radiculare care prezintă maximul de arbusculi și vezicule. Astfel se poate evalua eficiența procesului simbiotic plantă-ciupercă și direcționarea acestuia pe strategii.

Utilizarea strategiilor de colonizare în analiza mecanismului de colonizare este importantă pentru a defini orientarea specifică a fiecărui segment de rădăcină către o strategie clară: condiții de rezistență, proliferativă, transfer sau depozitare.

Originalitate și contribuții personale

3. Este primul studiu la nivel mondial care evidențiază modelele micoriziene pentru speciile *F. rubra* și *A. capillaris*, atât modelul nativ, cât și modelele influențate de fertilizare diferențiată. Este un studiu bazat pe asamblarea și analiza a mai mult de 20000 de imagini microscopice, care este cea mai mare bază de date în ceea ce privește mecanismele și procesele micoriziene.

2. Poate fi considerată un studiu cuprinzător asupra mecanismului micorizelor pentru două specii dominante în ecosistemul praticol..

1. Rezultatele prezentate în această teză sunt utile comunității științifice în multiple domenii de studiu: microbiologie generală și aplicată, biodiversitate speciilor de pajiști și agronomie.

4. Elaborarea unei metodologii specifice pentru cuantificarea obiectivă a procesului de colonizare a speciilor de pajiște.

5. Propunerea unei expresii agronomice a influenței ciupercilor micoriziene în sprijinirea acoperirii speciilor de pajiști și a potențialului de supraviețuire.

6. Propunerea de strategii micoriziene și elaborarea unei noi metodologii de clasificare îmbunătățită a mecanismului micorizelor și a proceselor de colonizare.

7. Stabilirea pragului de separare și limită a parametrilor pentru detectarea strategiilor de colonizare.

8. Elaborarea și stabilirea clară a unei metodologii de selecție a hărților micoriziene, bazată pe limitele inferioare și superioare ale anumitor parametri, reprezentând o nouă direcție de ameliorare a explicării unui proces simbiotic biologic foarte complex.

9. Elaborarea unui set clar de reguli pentru interpretarea hărților micoriziene asamblate într-o nouă procedură de analiză Multi-point.

10. Stabilirea unui sistem complex de analiză a datelor pentru extragerea hărților relevante din bazele de date MycoPatt pe baza valorilor medii, valorilor medianei și/sau analizei Cluster.

11. Propunerea unui nou indicator sintetic - raportul Arbusculi/Vezicule.

Referințe

1. Bispo, A.S.R.; Andrade, J.P.; Souza, D.T.; Teles, Z.N.S.; Nascimento, R.P.; Bispo, A.S.R.; Andrade, J.P.; Souza, D.T.; Teles, Z.N.S.; Nascimento, R.P. UTILIZATION OF AGROINDUSTRIAL BY-PRODUCTS AS SUBSTRATE IN ENDOGLUCANASE PRODUCTION BY *Streptomyces diastaticus* PA-01 UNDER SUBMERGED FERMENTATION. *Braz. J. Chem. Eng.* **2018**, *35*, 429–440.
2. Wang, T.; He, F.; Chen, G. Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *J. Funct. Foods* **2014**, *7*, 101–111.
3. Andersen, Tina, 2013, Effects of root zone composition and nitrogen and phosphorus rates on mycorrhizal colonization in different turfgrass species on sand-based golf greens in Scandinavia. <http://hdl.handle.net/11250/186484>
4. Baar J, Bergsma H, Steffen F: The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi for transition of highly fertilized grasslands into natural high biodiversity fields. In: Feldmann F, Kapulnik Y, Baar J (2008): Mycorrhiza Works, ISBN 978-3-941261-01-3; 217-228. © Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig, Germany
5. Bever JD., 2002, Host-specificity of AM fungal population growth rates can generate feedback on plant growth. *Plant and Soil* **244**: 281– 290.

6. CARLIER, L., ROTAR, I., VLAHOVA, M., & VIDICAN, R., 2009, Importance and Functions of Grasslands. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(1), 25-30. <https://doi.org/10.15835/nbha3713090>.
7. Cavagnaro, T.R., Gao, L.-L., Smith, F.A. and Smith, S.E., 2001, Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. *New Phytologist*, 151: 469-475. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646x.2001.00191.x>
8. Cheng Y, Ishimoto K, Kuriyama Y, Osaki M, Ezawa T., 2013, Ninety-year-, but not single, application of phosphorus fertilizer has a major impact on arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Plant and Soil* 365: 397– 407.
9. De Beenhouwer, M., Van Geel, M., Ceulemans, T., Muleta, D., Lievens, B., & Honnay, O. , 2015, Changing soil characteristics alter the arbuscular mycorrhizal fungi communities of Arabica coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia across a management intensity gradient. *Soil Biology & Biochemistry*, 91, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.037>
10. Dickson, S., Smith, F. A. & Smith, S. E. .2007, Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? *Mycorrhiza*, 17 (5): 375-393
11. DOMONKOS Mónika , Brigitta SCHMIDT , Balázs LIBISCH , Márta POLGÁRI and Borbála BIRÓ, 2010, Growth and mycorrhizal colonization of four grasses in a mn-amended low quality sandy soil, *Research Journal of Agricultural Science*, 42 (4), 2010
12. Egerton-Warburton, L. M., Johnson, N. C., & Allen, E. B., 2007, Mycorrhizal community dynamics following nitrogen fertilization: A cross-site test in five grasslands. *Ecological Monographs*, 77, 527–544. <https://doi.org/10.1890/06-1772.1>
13. Erik I Joner(2000) The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover December 2000 *Biology and Fertility of Soils* 32(5):435-440DOI: [10.1007/s003740000279](https://doi.org/10.1007/s003740000279)
14. GIBSON DJ, 2009, *Grasses and Grassland Ecology*. New York: Oxford University Press; 2009. p. 323.
15. Gollotte Armelle , Diederik van Tuinen, David Atkinson, 2004, Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising roots of the grass species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a field experiment, *Mycorrhiza* (2004) 14:111–117 DOI 10.1007/s00572-003-0244-7.
16. Goransson P., J. Postma, U. Falkengren Grerup, P. Göransson, P. Olsson, 2008, Colonisation by arbuscular mycorrhizal and fine endophytic fungi in four woodland grasses – variation in relation to pH and aluminium. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (2008), pp. 2260-2265
17. HASSANI, M.A., DURÁN, P. & HACQUARD, S., 2018, Microbial interactions within the plant rhizosphere, *Microbiome*, 6: 58. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>.
18. HELGASON T, FENG HY, SHERLOCK DJ, YOUNG JPW, FITTER AH., 2014, Arbuscular mycorrhizal communities associated with maples (*Acer* spp.) in a common garden are influenced by season and host plant. *Botany-Botanique* 92.
19. Helgason, T., Merryweather, J.W., Denison, J., Wilson, P., Young, J.P.W. and Fitter, A.H., 2002, Selectivity and functional diversity in arbuscular mycorrhizas of co-occurring fungi and plants from a temperate deciduous woodland. *Journal of Ecology*, 90: 371-384. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00674.x>
20. Hodge A., A.H. Fitter, 2010, Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (2010), pp. 13754-13759
21. Hrselova H, Grindler H, Vancura V., 1989, Influence of inoculation with VA mycorrhizal fungus *Glomus* sp. on growth of strawberries and runner formation. In: *Agriculture Ecosystems and Environment*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp 193–197
22. Jiang, S., Liu, Y., Luo, J., Qin, M., Johnson, N. C., Öpik, M., ... Feng, H., 2018, Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal community structure and functioning along a nitrogen enrichment gradient in an al- pine meadow ecosystem. *New Phytologist*, 220, 1222–1235. <https://doi.org/10.1111/nph.15112>
23. Johnson NC, Rowland DL, Corkidi L, Allen EB., 2008, Plant winners and losers during grassland N-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas. *Ecology* 89: 2868– 2878.
24. Johnson, N.C., Wilson, G.W.T., Wilson, J.A., Miller, R.M. and Bowker, M.A. ,2015, Mycorrhizal phenotypes and the Law of the Minimum. *New Phytol*, 205: 1473-1484. <https://doi.org/10.1111/nph.13172>
25. Körner O., E. Gutzmann, P.R. Kledal, 2017, A dynamic model simulating the symbiotic effects in aquaponic systems *Acta Hort.*, 1170 (2017), pp. 309-316

26. Kvalbein, A. & Aamlid, T. S., 2012, The grass guide 2012 - amenity turf grass species for the nordic countries. Online http://sterf.golf.se/dynamaster/file_archive/121018/57fa93e1a16c3d5a2fe15fb13107c05a/Gr%e4sguide%20engelsk%20final3.pdf: STERF (accessed: 09.04.2013).
27. Leff, J. W., Jones, S. E., Prober, S. M., Barberán, A., Borer, E. T., Firn, J. L., ... Fierer, N., 2015, Consistent responses of soil microbial communities to elevated nutrient inputs in grasslands across the globe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 112, 10967–10972. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508382112>.
28. Leith, H., 1975, Primary production of major vegetational units of the world. In H., Leith and R. H., Whittaker (Eds), *Primary Productivity of the Biosphere*. pp. 203–215. Springer Verlag, New York.
29. Lugo M.A., K.O. Reinhart, E. Menoyo, E.M. Crespo, C. Urcelay, 2015, Plant functional traits and phylogenetic relatedness explain variation in associations with root fungal endophytes in an extreme arid environment *Mycorrhiza*, 25 (2015), pp. 85–95
30. MARDHIAH U., T. CARUSO, A. GURNELL, M.C. RILLIG, 2016, Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment *Appl. Soil Ecol.*, 99 (2016), pp. 137–140
31. Matthias C. Rillig and Daniel L. Mummey, 2006, *Mycorrhizas and soil structure* Microbial Ecology Program, Division of Biological Sciences, University of Montana, Missoula, MT 59812, USA
32. Păcurar F., Rotar I., Bogdan A., Vidican R., 2011, Indicator Species for Oligotrophic Semi-Natural Grasslands in Apuseni
33. Rewald, B., Raveh, E., Gendler, T., Ephrath, J. E., and Rachmilevitch, S., 2012, Phenotypic plasticity and water flux rates of citrus root orders under salinity. *J. Environ. Bot.* 1, 1–11. doi: 10.1093/jxb/err457
34. Ryan M.H., J.H. Graham, 2002, Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant Soil*, 244 (2002), pp. 263–271
35. SMITH FA, SMITH SE, TIMONEN S., 2003b, *Mycorrhizas*. In *Root Ecology*. Eds H de Kroon and EJW Visser pp. 257–295. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
36. Smith, S. E. & Read, D. J., 2008, *Mycorrhizal symbiosis*. Amsterdam: Academic Press. ix, 787 s., [16 s. of plates : ill. (some col.) pp.
37. Smith S.E, F.A., 2011b, Smith Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales, *Annual Review of Plant Biology*, 62 (2011), pp. 227–250
38. Stoian V. H., Florian V., 2009, Mycorrhiza – benefits, influence, diagnostic method, *Bulletin UASMV Agriculture* 66(1): 170–175.
39. STOIAN Vlad, VIDICAN Roxana, ROTAR I., PĂCURAR F. ,2016, MYCORRHIZAL INDUCED DOMINATION OF FESTUCA RUBRA IN GRASSLANDS, *Romanian Journal of Grassland and Forage Crops* (2016)13
40. Stoian, V., Vidican, R., Crișan, I. *et al.*, 2013, Sensitive approach and future perspectives in microscopic patterns of mycorrhizal roots. *Sci Rep* 9, 10233 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46743-2>
41. Fornara Dario A., David Flynn, Tancredi Caruso, 2020, Improving phosphorus sustainability in intensively managed grasslands: The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi, *Science of The Total Environment*, Volume 706, 2020, 135744, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135744>.
42. Thomaz Rafael de Aquino Moura, Marlon da Silva Garrido , Carla da Silva Sousa , Romulo Simões Cezar Menezes and Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio, 2018, Comparison of methods to quantify soil microbial biomass carbon, <http://periodicos.uem.br/ojs/acta> ISSN on-line: 1807-8621 Doi: 10.4025/actasciagron.v40i1.39451
43. Tord Ranheim Sveen, Tarquin Netherway, Jaanis Juhanson, Jane Oja, Pernilla Borgström, Maria Viketoft, Joachim Strengbom, Riccardo Bommarco, Karina Clemmensen, Sara Hallin, Mohammad Bahram, 2021, Plant microbe interactions in response to grassland herbivory and nitrogen eutrophication, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 156, 2021, 108208, ISSN 0038-0717, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108208>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071721000808>)
44. Vaida I.; Pacurar. E.; Rotar. I.; Vidican. R.; Plesa. A.; Sângeorzan. D., 2018, The influence of organic fertilization on agronomic factors, on festuca rubra grasslands in the Apuseni Mountains. *Romanian Journal of Grassland and Forage Crops* 2018 No.17 pp.83-87 ref.5

45. van Aarle I.M., P.A. Olsson, B. Soderstrom, 2002, Arbuscular mycorrhizal fungi respond to the substrate pH of their extraradical mycelium by altered growth and root colonization, *New Phytologist*, 155 (2002), pp. 173-182
46. van der Heijden MGA, Bruin Sd, Luckerhoff L, van Logtestijn RSP, Schlaeppi K., 2016, A widespread plant-fungal-bacterial symbiosis promotes plant biodiversity, plant nutrition and seedling recruitment. *ISME Journal* 10: 389–399.
47. van der Heijden, M.G.A., 2010, Mycorrhizal fungi reduce nutrient loss from model grassland ecosystems. *Ecology* 91, 1163–1171. <https://doi.org/10.1890/09-0336.1>
48. Van Geel, M., De Beenhouwer, M., Ceulemans, T., Caes, K., Ceustermans, A. N., Bylemans, D., ... Honnay, O., 2016, Application of slow-release phosphorus fertilizers increases arbuscular mycorrhizal fungal diversity in the roots of apple trees. *Plant and Soil*, 402, 291–301. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2777-x>.
49. Vandenkoornhuysen P, Husband R, Daniell TJ, Watson IJ, Duck JM, Fitter AH, Young JPW., 2002b, Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Molecular Ecology* 11: 1555– 1564.
50. Vandenkoornhuysen P., Ridgway, K.P., Watson, I.J., Fitter, A.H. and Young, J.P.W. , 2003, Co-existing grass species have distinctive arbuscular mycorrhizal communities. *Molecular Ecology*, 12: 3085–3095. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2003.01967.x>
51. Williams, A., Manoharan, L., Rosenstock, N.P., Olsson, P.A. and Hedlund, K. ,2017, Long-term agricultural fertilization alters arbuscular mycorrhizal fungal community composition and barley (*Hordeum vulgare*) mycorrhizal carbon and phosphorus exchange. *New Phytol*, 213: 874–885. <https://doi.org/10.1111/nph.14196>
52. Williams, A., Manoharan, L., Rosenstock, N.P., Olsson, P.A. and Hedlund, K. ,2017, Long-term agricultural fertilization alters arbuscular mycorrhizal fungal community composition and barley (*Hordeum vulgare*) mycorrhizal carbon and phosphorus exchange. *New Phytol*, 213: 874–885. <https://doi.org/10.1111/nph.14196>
53. YANG G. , C. WAGG, S.D. VERESOGLOU, S. HEMPEL, M.C. RILLIG, 2018, How soil biota drive ecosystem stability *Trends Plant Sci*, 23 (2018), pp. 1057-1067.
54. <https://www.weather-atlas.com>
55. <https://en.tutiempo.net>
56. <http://rootgrow.co.uk>
57. <https://www2.dijon.inra.fr>
58. <http://www.sterf.org/sv/about-sterf/news-archive/varieties-of-red-fescue-and-creeping-bentgrass>