

Válasz Kátai János, az MTA doktora

„Termesztés-technológiai beavatkozások hatása arbuszkuláris mikorrhiza gombaközösségekre szántóföldi és kertészeti kultúrákban” című MTA doktori értekezésről készült opponensi véleményére

Mindenekelőtt köszönetet mondok Opponensemnek, hogy időt és fáradságot nem kímélve alapos és sokoldalú vizsgálat tárgyává tette értekezésemet, mely során értékes észrevételekkel, javaslatokkal és kérdésekkel ösztönzött néhány korábbi meglátásom újragondolására. Köszönöm dicsérő szavait, melyek a disszertáció nyelvezetére és feldolgozására utalnak. Külön is köszönöm bírálóm elismerő megállapítását, mely a hazai mikorrhiza kutatásban végzett vizsgálataimat és az „Eredmények megvitatás, javaslatok” c. fejezet jelentőségét, és értékét fejezi ki. Ugyanakkor elfogadom a következőkben említett jobbító szándékú megjegyzéseit, kritikáit.

A vizsgálati talajok pontosabb megnevezése valóban hiányolható, ugyanakkor azok jellemzése már jelentős mértékben megnövelte volna a dolgozat terjedelmét, mely jelen formában is 159 oldal. Mivel minden részterület eredményeinek publikálása alapos anyag és módszertani részekkel megtörtént, ezért nem fektettem nagy hangsúlyt a talajtípusok jellemzésére a dolgozatban.

Kijelentésem, mely szerint „Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy Magyarország klimatikus és talaj adottságai kedvező hatással vannak az AM gombaközösségek diverzitására” valóban nem kellően alátámasztott dolgozatomban. Ezt a megállapítást egyébként azért tettem, mert a művelésbe vont területeket azonos módszerekkel vizsgálva, Európa egyetlen monokultúrás kukorica állományából sem sikerült nagyobb AM fajgazdagságot kimutatni, mint amelyet mi bemutattunk (2013. júniusig megjelent publikációkat figyelembe véve). Valóban több irodalmi adattal kellett volna kijelentésemet alátámasztanom és csak a konkrét kultúrára vonatkoztatva kellett volna ilyen következtetést megállapítanom.

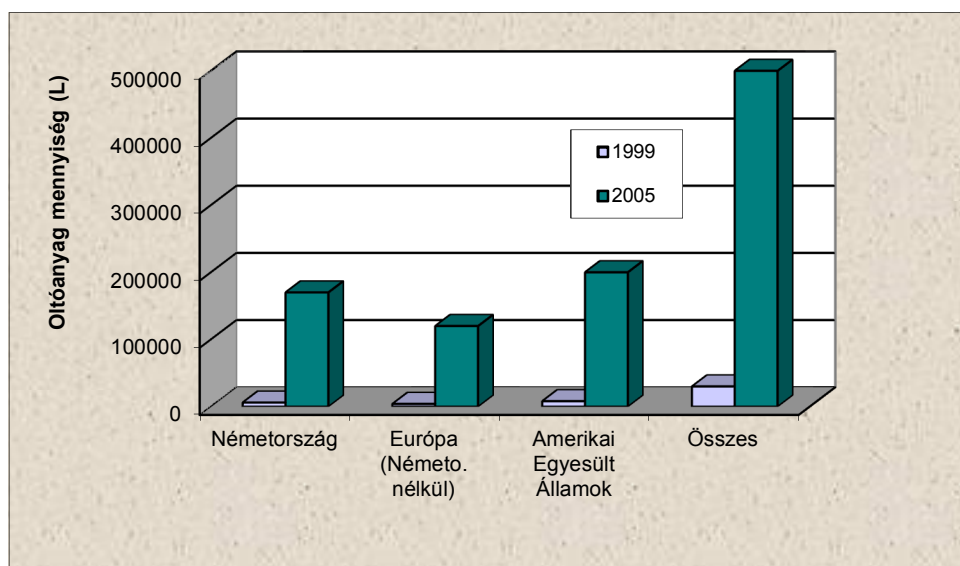
Továbbiakban Opponensem kérdéseire megfogalmazott válaszaimat foglalom össze, és a könnyebb követhetőség érdekében dőlt betűvel felidézem az Opponensi kérdéseket.

1. Ma Magyarországon egyre több mikrobiális készítményt használnak. Véleménye szerint milyen mértékben terjedt el az AM oltóanyag használta az EU-ban és hazánkban? Mi várható a következő évtizedekre?

2014.06.05-i hatállyal 87 mikrobiológiai készítményt engedélyeztek Magyarországon, melyek közül 42 használható fel ökológiai gazdaságokban is. A relatíve nagyszámú készítmények között legnagyobb mennyiséget a baktériumokat tartalmazó termékek adják. Csak néhány, gombát tartalmazó készítmény ismert, és még kisebb az algákat vagy mikorrhiza gombákat tartalmazó oltóanyagok a száma. Hazánkban jelenleg csak két engedélyezett mikorrhiza termék van forgalomban. A 2009-ben engedélyezett Csehországból származó *Symbivit*, mely hat mikorrhiza gombát tartalmaz természetes anyaghordozókkal és adalékanyagokkal. 2013 márciusában egy újabb, Veronában előállított, és csak *Glomus intraradices* törzset tartalmazó por alakú készítmény (*Aegis*) is megjelent a piacon.

Nehéz pontos adatokat bemutatni a felhasznált mikorrhiza oltóanyagok mennyiségére vonatkozóan, mivel a termék-előállító cégek mellett egyre több „licenz” joggal rendelkező társulás is van, akik nem szívesen adnak ilyen jellegű információkat. Korábbi évekre vonatkozóan rendelkezem hiteles adatokkal, melyek alapján illetve a jelen „trendek” ismeretében, ha nem is pontos, de irányát tekintve egyértelmű előrejelzést tudunk

megállapítani a következő évekre vonatkozóan. 1999 és 2005 között több mint 20-szorosára nőtt a mikorrhiza oltóanyagok felhasználása a világon; Európa legnagyobb felhasználója Németország volt (1. ábra).



1. ábra. Mikorrhiza oltóanyag mennyiségének változása 1999-2005 között

Az utóbbi években egyre nagyobb az igény a környezeti terhelést csökkentő termesztéstechnológiai módszerek iránt, így nem meglepő a mikorrhiza oltóanyagok mennyiségének ugrásszerű növekedése. Még nagyobb mértékű fellendülés várható a következő évtizedekben, amikorra remélhetően a mikorrhiza gombák szántóföldi kijuttatásának problémájára is sikerül megoldást találni. A fejlesztések új iránya még a kombinált mikorrhiza oltóanyagok (baktériumokkal, szaprofiton gombákkal) előállítása és az eddig alkalmazott vivőanyagok lecserélése; mindez még további felhasználói területeket nyithat meg.

2. A Jelölt azt tapasztalta, hogy a Collembolák közül a *Folsomia candida* és a *Sinella coeca* AM gombákkal táplálkoznak és egy optimális ugróvillás sűrűség nagyobb mértékű mikorrhizáltságot, nagyobb növényi növekedést biztosít, valamint részt vesznek a mikorrhizáltság terjesztésében is. Más Collembola faj, ill. más állatcsoport vajon részt vesz-e az említett folyamatokban?

A SzIE Állattani Intézetének munkatársaival közösen tervezett és kivitelezett munka a Collembolák és arbuszkuláris mikorrhiza gombák közötti kapcsolatokat feltárását célozta. A kiválasztásra kerülő fajok felnőtt egyedeinek *in-vitro* kísérleti modell rendszerben mért spórafogyasztása alapján megállapítható volt, hogy a *Sinella coeca* mind a *G. mossea* illetve *G. intraradices* spóráit fogyasztja, ugyanakkor a *Folsomia* nem. Az ugróvillásoknak az arbuszkuláris mikorrhiza gombaspóra fogyasztásánál valamint a mikorrhiza terjesztésénél tapasztalt különbségei alapján feltételeztük, hogy a makrofauna képviselői befolyásolják a mikorrhiza gombák által befolyásolt folyamatokat, így a tápelemek felvételét is. Az irodalmi adatok alapján ismert, hogy a vizsgált fajokon kívül a *Protaphorura fimata*, *Heteromurus nitidus* és más ugróvillás fajok is részt vesznek ebben a folyamatban. A Collembolák mellett mikofág fonálférgek is befolyásolják a mikorrhiza szimbiózist (SALAWU & ESTEY, 1979; HUSSEY & RONCADORI, 1980). SÁRVÁRY és munkatársai (2000) bizonyították be, hogy a

Hemileius initialis páncélosatka is hatással van a *Glomus macrocarpum* AM-gomba aktivitására, a mutualista kapcsolat kialakítására.

A makrofauna tagjai közül – a nagyobb ízeltlábúak (ászák, ikerszelvényesek, bogarak), a giliszták és a kismérszők – szerepe sem elhanyagolható a talajban élő arbuskuláris mikorrhiza gombák és növények gyökere között kialakított kapcsolatban. DOWDING (1959) elsőként számolt be a rágcsálók gyomrának AM-gomba spóra tartalmáról, és arról, hogy a spórák a bélcsatornán való átjutás után is megőrizték életképességüket (TRAPPE & MASER, 1976). A legtöbb tanulmány szerint azonban a gyűrűsférgék játsszák a legnagyobb szerepet az AM gomba terjesztésében, és mechanikai, externális hifát feldaraboló tevékenységükkel befolyásolják a növény foszforfelvételét is (TUFFEN et al. 2002). A makrofauna egyéb tagjai közül az ászák (Isopoda) bélcsatornájából is mutattak ki AM-gomba spórákat (WALLWORK, 1970), sőt a táplálékláncon keresztül a ragadozó futóbogarak tápcsatornájába is eljuthatnak a spórák, aktív részeseivé válva a mikorrhiza gombák terjesztésének. A rövid irodalmi felsorolásból is látható, hogy közvetlenül vagy közvetve a mikro- és makrofauna több tagja is képes az AM szimbiózis befolyásolására az arbuskuláris mikorrhiza gombák terjesztésére.

Referencia:

- Salawu E.O., Estey R.H. (1979); *Phytoprotection*, 60, 99-102.
- Hussey R.S., Roncadori R.W. (1981); *Journal of Nematology*, 13, 48-52.
- Sárváry M., Bakonyi G., Claassen V.P. (2000); *Állattani Közlemények*, 85, 53-58.
- Dowding E.S (1959); *Transactions of the British Mycological Society*, 42, 449-457.
- Trappe J.M., Maser C. (1976); *Mycologia*, 68, 433-436.
- Tuffen F., Eason W.R., Scullion J. (2002); *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1027-1036.
- Wallwork J.A. (1970); McGraw-Hill, London, 283.

3. *A Jelölt disszertációjában bemutatta, hogy a talajok fizikai és kémiai tulajdonságai milyen hatást gyakorolnak az AM mikorrhiza gombák előfordulására és a gomba közösségek összetételére. Véleménye szerint a gazdanövény vagy a talajtulajdonságok befolyásolják-e elsődlegesen az AM gomba populációk mennyiségét és faji összetételét?*

Különböző típusú talajok és gazdanövények kombinációjával végzett kísérlet során JOHNSON és munkatársai (1992) rámutattak, hogy egyes AM gomba fajok eloszlása a talaj típusától, másoké a gazdanövénytől és néhány mikorrhiza gomba jelenléte pedig a növény-talaj kombinációtól függ. Mai tudásunk szerint az AM gombák nem mutatnak szoros gazdanövény specifikitást, gazdanövénykörük széles, de a növény „szelektál” a körülötte élő fajok között. Mindemellett a növénytársulás összetétele az AM gombák társulására is hatással van, melyek együttesen a növényi produktivitását is befolyásolja (TORRECILLAS et al. 2014).

A különböző AM gombafajok eltérően reagálnak a tápanyag-utánpótlási formákra, a talaj-bolygatásra, a kijuttatott tápelemek mennyiségére és arányára, mely hosszabb távon befolyásolja a mikorrhiza populáció mennyiségét és faji összetételét (CARUSO és RILLIG 2011). Saját eredményeink bizonyítják, hogy a *Septoglomus* nemzetséghez tartozó mikorrhiza gombák érzékenyek a talaj nagyobb tápelem koncentrációjára. A talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak az AM gombákra gyakorolt elsődleges hatása mellett a növény oldaláról preferált asszociáció is megfigyelhető befolyásolva az AM gombaközösség diverzitását és összetételét. Mindemellett az AM gombák diverzitása, spóráképződése szezonális és szukcessziós eltéréseket mutathat. A gomba fajgazdagság és a növényi diverzitás kapcsolatára URCELAY és DIAZ (2003) modelljében egy ún. „funkcionálisan kompatibilis” gombanövény együttest feltételez, pozitív korrelációt megállapítva a mikorrhiza kolonizáció és a

növényi diverzitás között. A növényi diverzitás azonban csökkenhet is, ha a domináns növényfaj erősen „mikorrhiza-függő” és az alárendelt növény nem. Ezért a mikorrhiza diverzitás növekedése nem feltétlenül növeli a növényi diverzitást, bár a természetes rendszerekben ez a jellemző.

Összefoglalva megállapítható, hogy a talajtulajdonságok mikorrhiza gombák diverzitására gyakorolt elsődleges hatása mellett a gazdanövény befolyásoló szerepe sem elhanyagolható.

Referencia:

- Johnson N.C., Tilman D., Wedin D. (1992); *Ecology*, 73, 2034-2042.
- Torrecillas E., Alguacil M., Roldán A., Díaz G., Montesinos-Navarro A., Torres M.P. (2014); *Applied and Environmental Microbiology*, pii: AEM.01358-14
- Caruso T., Rillig M.C. (2011); *Biology & Biochemistry*, 43, 1198-1206.
- Urcelay C., Diaz S. (2003); *Ecology Letters*, 6, 388-391.

4. *Mi lehet az oka annak, hogy kisebb növénytűrés mellett nagyobb mértékű mikorrhizáltságot tapasztalt, valamint annak, hogy elsősorban monokultúrában határozott meg nagyobb mennyiségű AM gombát?*

A gyökérkolonizáció kialakulását és mértékét számos biotikus és abiotikus tényező befolyásolja. Ezek közül legfontosabbak a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, így a talaj pH-ja, foszfor- és szervesanyag tartalma, a gazdanövény és az aktív gyökérkolonizációt kialakító, illetve abban részt vevő AM gombafajok rendszertani hovatartozása (CARRENHO et al. 2001). Emellett a szimbiózis kialakulása és fenntartása valószínűleg a két partner együttes irányítása alatt áll, melynek molekuláris háttere még nem teljesen tisztázott (PARNISKE 2008). Az, hogy a különböző AM gombafajok eltérő mértékben alakítanak ki a növényekkel kapcsolatot, többek között – a növénytől kapott szénhidrát mennyiségére vonatkozóan – eltérő mértékű szénhidrát igényüknek is köszönhető (VIERHHEILIG et al. 2008). A nagyobb mértékű mikorrhizáltság erőteljesebb külső hifahálózat kialakítását jelenti, melynek fenntartása plusz energiát igényel. Kisebb növénytűrésnél a lombzat átfedése kisebb, mint nagyobb növénytűrésnél, és a zavartalan fotoszintézis eredményeként az energia egy része a mikorrhiza gomba növekedését szolgálja. A lombkorona mellett a gyökerek közötti átfedés, kompetíció is kisebb kis növénytűrésnél.

Amennyiben a kérdés nem növénytűrés, hanem növény-diverzitás vonatkozásában értendő, akkor válaszom a következő. Általánosságban elmondható, hogy a mezőgazdasági művelés alá vont területek AM diverzitása kisebb, mint a természetes növénytársulásoké, ez azonban nem minden esetben van így. Különösképpen a kis ráfordítású (low input) gazdálkodás és vetésforgó esetében mutattak ki viszonylag diverz AM gomba közösséget (HIJRI et al. 2006, MAITI et al. 2012 OEHL et al. 2009). Mi kukorica monokultúrából (CRM) összesen 11 MOTU-t, a 3 év lucerna – 5 év kukorica (CR3) vetésforgóból 9 MOTU-t, a 2 év búza – 2 év kukorica (CR5) valamint a kukorica – tavaszi árpa – borsó – búza (Norfolk típusú, CR7) vetésforgó rendszerekből 6-6 MOTU-t mutattunk ki. Eredményeink első pillanatban meglepőek, de a vizsgálati körülmények pontos ismeretében már korántsem azok. A Norfolk típusú vetésforgónál, a mintavétel évében a rotációban ugyanis őszi búza volt, melynek fenológiai fázisai is időben jelentősen eltértek a kukoricáétól. Vagyis a másik három kezelésben kukorica, a Norfolk típusban pedig őszi búza gyökerét aktívan kolonizáló fajok vizsgálata történt. Az előző kérdésnél fejtettem ki, hogy az AM gombák nem mutatnak szoros gazdaspecifitást. A búza nem annyira mikorrhiza függő növény, mint a kukorica, eredményeinknek ez a magyarázata.

A monokultúra sem természetes, sem agrár-rendszerekben nem kedvez az AM gomba diverzitásnak, de a kezelések tendenciájának megállapításakor az egy időben együtt élő növények mikorrhiza közösségének összevetése kívánatos, nem pedig az időben egymást követő növényfajoké.

Referencia:

- Carrenho R., Siva E.S., Trufem S.F.B., Bononi V.L.R. (2001); *Brazilian Journal of Microbiology*, 32, 262-270.
- Parniske M. (2008); *Nature Reviews Microbiology*, 6, 763-775.
- Vierheilig H., Steinkellner S., Khaosaad T., Garcia-Garrido J.M. (2008); *Mycorrhiza*, 307-320.
- Hijri I., Sýkorová Z., Oehl F., Ineichen K., Mäder P., Wiemken A., Redecker D. (2006); *Molecular Ecology*, 15, 2277-2289.
- Maiti D., Singh R.K., Variar M. (2012); *Biology and Fertility of Soils*, 48, 67-73.
- Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Mäder P., Wiemken A., Boller T. (2009); *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134, 257-268.

5. *Mikorrhiza oltóanyag használatával mérsékelhető a foszfor műtrágya mennyisége, már a közepes foszfor ellátottságú talajokban. Hogyan lehet ezt figyelembe venni a tápanyag utánpótlás során? Milyen mértékű lehet a foszforműtrágya kiváltása, ha az arbuszkuláris mikorrhiza oltóanyagot alkalmazzuk?*

A kérdés megfogalmazása gyakorlati szempontból igen fontos, de megválaszolása több információt igényel. Mint ahogy SAWERS és munkatársai 2008-ban közzétették (Lásd dolgozat 6. ábra), a mikorrhiza hatását, függőségének mértékét a közeg tápelem tartalma jelentős mértékben befolyásolja. Az arbuszkuláris mikorrhiza gomba parazitaként való megjelenése kis tápelem tartalmú talajokban ismert jelenség. Ugyanakkor a mikorrhizált növény növekedésében nagy tápelem koncentrációnál tapasztalható redukció már több magyarázatot igényel.

Nagy foszforkoncentrációnál a gomba fejlődése, externális hifaképződése és a gyökérkolonizáció mértéke is csökken. Ezzel együtt gátolt a mikorrhizált növény közvetlen, gyökér segítségével történő foszforfelvétele. A folyamat szabályozásának minden eleme még ma sem teljesen tisztázott, de a floemből származó cukornak többféle szerepet is tulajdonítanak. A gomba növekedése illetve gyökérkolonizáció mértékének szabályozása mellett szignálként (i) megnöveli a növényi P-transzporterek expressziójának mértékét és így a direkt P felvételt, valamint (ii) növeli a szerves savak és foszfatázok képzését (NOURI et al. 2014).

JOHNSON 2010-ben megjelent közleménye alapján már ismert, hogy a magas P szint mellett a talaj nitrogén koncentrációja is igen fontos a szabályozásban. Ugyanis a közvetlen foszforfelvétel gátlásával a mikorrhiza által megvalósuló elemfelvétel túlsúlyba kerül, és a nitrogénfelvétel is fokozódik. A nitrát argininná illetve ammóniává történő átalakítása azonban jelentős energia többletet igényel, mely gyakran növekedésbeli csökkenést idéz elő. A legújabb kutatások szerint a nitrogén éhezés felülírja még a nagy koncentrációban jelenlévő foszfor gátló hatását is (NOURI et al. 2014).

Visszatérve az eredeti kérdéshez: az adott körülménytől függ, hogy milyen mértékű foszforműtrágya kiváltása ajánlott. A fenti összefüggések alapján ugyanis belátható, hogy a foszforon kívül a nitrogén ellátottság is befolyásolja a lehetőségeket. Ha ugyanis közepes foszfor ellátottság mellett limitált a nitrogén, akkor nincs értelme a mikorrhiza oltóanyag használatának, mert ilyenkor az AM gomba parazitaként fog viselkedni.

Általános gyakorlat szerint olyan esetekben alkalmazzunk mikorrhiza oltóanyagot, amikor a növényi fotoszintézisből származó cukor fedezi a növény és az obligát mikorrhiza gomba fejlődését egyaránt. Saját eredményeim alapján 25 %-os foszforműtrágya kiváltása

könnyen elérhető a terméseredmények megtartása mellett is. Természetesen ismerünk 50, illetve kivételes esetben 75 %-os foszforműtrágya kiváltást is, de nem ez a jellemző gyakorlat. A biogazdálkodásban azonban gyakran használnak mikrobiológiai termékeket, köztük mikorrhiza oltóanyagokat tápelem utánpótlás céljából.

Referencia:

- Sawers R.J.H., Gutjahr C., Paszkowski U. (2008); *Trends in Plant Science*, 13, 93-97.
- Nouri E., Breuillinn-Sessoms F., Feller U., Reinhardt D. (2014); *PLOS ONE*, 9
- Johnson N.C., Wilson G.W.T., Bowker M.A., Wilson J.A., Miller R.M. (2010); *PNAS*, 107, 2093-2098.

6. Szükséges lehet-e az AM gombák rendszeres monitoring vizsgálatára? Ha válasza igen, konkrétan milyen módszerekre, vizsgálatokra gondol?

Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák rendszeres monitoringját ma még nem tartom szükségesnek. Ennek egyik oka az, hogy a mezőgazdaságilag művelt, intenzív gazdálkodást folytató területeken a peszticidek és műtrágyák használata megtizedeli a bennszülött és oltóanyaggal bevitt mikorrhiza fajokat egyaránt. A szórványosan, oltással betelepített fajok nem jelentenek igazán konkurenciát a bennszülött fajoknak, de óvatosságra intenek. Első lépésben az engedélyezett oltóanyagokban található mikorrhiza gomba törzs(ek) agresszivitásának tanulmányozását tartom fontosnak, melynek vizsgálatát el is kezdtem. Egy agresszív faj hosszú távon ugyanis több veszély forrása is lehet.

A kertészeti kultúrákban, mesterséges közegben történő alkalmazása az AM gombáknak szintén nem sok veszélyt rejt még napjainkban. Ugyanakkor itt kell megemlítenem, hogy a mikorrhiza gombákat tartalmazó oltóanyaggal bekerülő szennyező baktériumok és gombák azonban veszélyt jelenthetnek. Ezért is javasoljuk az oltóanyagok humán és növény patogénekkal szembeni tesztelését egyaránt.

A mikorrhiza oltóanyag szélesebb körű alkalmazásakor, nagyobb mennyiség kijuttatásánál azonban az AM gombák monitoring vizsgálatának fokozatos bevezetését tartom szükségesnek.

A természetes rendszerekhez közelebb álló területeken mikorrhiza oltás alkalmazáskor, így az erdőtelepítéseknél azonban igen fontosnak lenne bennszülött mikorrhiza gombákat és nem idegen törzseket tartalmazó oltóanyagok használata.

6. Jelen dolgozatban összegezte eddigi eredményeit. Milyen irányban bővítené kísérleti programját a későbbiekben?

Bízom benne, hogy a jövőben lehetőségem lesz folytatni az arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal kapcsolatos kutatásaimat a MIR (mikorrhiza indukált rezisztencia) illetve talaj mikroorganizmusok és mikorrhiza gombák közötti interakciók témakörében.

Még egyszer köszönöm Opponensem észrevételeit és segítő javaslatait. Bízom benne, hogy válaszaim megfelelőek és elfogadhatóak Opponensem számára.

Gödöllő, 2014. június 23.

Tisztelettel,

Posta Katalin