

Az endoszimbionta-kutatás eddigi eredményei és további lehetőségei – a 2. Nemzetközi Mikorrhiza Konferencia kapcsán –

A Svéd Agrártudományi Egyetem Mikrobiológiai Tanszékének a szervezésében rendezték meg 1998. július 5-10. között a 2. Mikorrhiza Világkonferenciát (ICOM 2) Uppsalában. A mikorrhiza-kutatások jelentőségét jelzi, hogy a konferencián 48 ország 600 kutatója vett részt és kísérleti eredményeikről több mint 500 összefoglalóban számoltak be. Hazánkat három intézmény (MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet (MTA TAKI), Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) és Kossuth Lajos Tudományegyetem (KLTE)) hét kutatója képviselte és a társszerzőkkel közösen bemutatott poszterek száma 6. Az elsősorban a fás növények gyökérrendszerével élő ektomikorrhiza- (EM) és a magasabb rendű növények közel 90 %-ával társulni képes arbuszkuláris endomikorrhiza (AM) gombák kísérleti eredményei a témabeszámolók között egyenlő arányban szerepeltek a mindössze csak néhány százalékot kitevő erikoid-, monotropoid-, arbutoid-, endofita-, orchidea-, valamint a kevert ektendo típusú mikorrhiza-összefoglalók mellett. A kísérleti eredmények többsége (közel 200 közlemény) alapvető jellegű és csak töredékük mutat be (kb. 50) alkalmazott kutatási eredményeket bármelyik két fő mikorrhiza csoporton belül vizsgálódunk is. Ezen túlmenően az alapvető kutatási beszámolók közel fele a környezeti biotikus és abiotikus stressztényezőknek (kedvezőtlen talajviszonyok, erdőtüzek, felszínközeli bányászat, szennyvíz stb.) a mikroszimbiontakra vagy a szimbiózis működésére vonatkozó adatait is közli.

A legjelentősebb szakirányokat illetően a konferenciához különböző elméleti és főleg gyakorlati ismereteket is adó tanfolyamok kapcsolódtak. Az egyik ilyen továbbképzés a „*Development and function of the mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi*” címet viselte, mivel az endomikorrhiza gomba-növény kapcsolat működőképessége a növényi hajszálgököreken túlnyúló, ún. extradikális hifáknak a mennyiségétől és kiterjedtségétől erősen függ (GREEN et al.: ... *the external mycelium of Glomus*., GRYNDLER et al: *Growth of hyphae of AMF* ..). Az eddigi kutatások során történtek ugyan próbálkozások ezen hifatömegnek a számszerűsítésére, de a kifejlesztett módszerek alkalmazhatóságát az adott talajtípus szemcseösszetétele és kötöttsége, az egyéb talajelődfordulású mikroszkopikus gombák előfordulása nagymértékben befolyásolták. A Mikorrhiza Konferenciához kapcsolódó tanfolyamon ugyanakkor speciális festési eljárást mutattak be az aktív, az inaktív és a nem mikorrhiza típusú hifák elkülönítésére, valamint alkalmas módszert ahhoz, hogy a megfelelően preparált minták mikroszkópi tárgylemez hifahossz-mérései megbízhatók legyenek. Ezeknek a technikáknak az alkalmazása különösen a biotikus (talaj eredetű növénypatogén gombák, rizoszféra baktériumok) és az abiotikus stressztényezők (talajsavanyúság, nehézfémek, szárazság) növényfiziológiai hatásainak az értékelésénél lehet elsősorban fontos.

Az ektomikorhiza gombák (EM) hifa-tömeg vizsgálatai módszertanilag könnyebben kivitelezhetőek, mivel azok kiterjedése szabad szemmel is látható és mennyiségük is inkább számottevő (COLPAERT et al.: *Specific nutrient uptake rates of EM root systems*; DONNELLY et al.: *Characterization of interacting mycelial systems ...*).

A mikorhiza gombák genetikai vizsgálati módszerei napjainkban jelentős iramú fejlődésen esnek át. Az eddig kifejlesztett eljárások még nem voltak eléggé érzékenyek ahhoz, hogy az egy spórára vonatkozó „ujjlenyomatot”, és így a csapdanövényes tenyésztési és mikroszkópi megfigyelésnél gyorsabb fajbeazonosítást nyerhessünk (GOLLOTTE et al.: *Analysis of ribosomal RNA and phosphoglycerate kinase gene sequences of AMF*). Kiterjedt vizsgálatok indultak meg azonban, amelyeknek eredményeit a Konferencia is bemutatta (kb. 50–50 AM és EM publikáció). Az elkövetkező évek ökológiai, populációbiológiai kutatásai tehát ezen genetikai eszközök rutinszerű alkalmazása nélkül nem képzelhetők el. A két szemléletmód (ökológiai és genetikai) együttes használatát mutatták be az ektomikorhizán többek között DUCOUSSO et al.: *Characterization of Pisolithus spp. using PCR/RFLP ...*; EL KAR-KOURI et al.: *Genetic characterization of fungal partner of Pinus pinea ...*; ERLAND et al.: *Dominant taxa in EMF communities ...*; GLEN et al.: *Congruence between molecular and morphological characters ...*; az endomikorhizán pedig FRANKEN et al.: *RNA accumulation patterns in AMF*, HARRIER et al.: *Isolation of L. esculentum mRNA transcripts*.

A Nemzetközi Konferencia további tanfolyamát az ektomikorhiza gombáknak, ezen belül is a csak speciális környezeti körülmények között (zárt, megfelelő szubsztrátumok) előforduló szarvasgombáknak és tenyésztési körülményeiknek a részletesebb megismertetése képezte. Az eddigiek során mindössze csak néhány faj esetében megoldott mesterséges növényoltással ugyanis különleges minőségű, értékes termékhez juthatunk, de jelenleg még csak az előkísérletek folynak (BRATEK et al.: *Artificial mycorrhizal infection of black locust by Terfezia terfezioides under greenhouse conditions*). Mivel azonban a termőtestképződés mechanizmusának gomba vagy gazdanövény általi befolyásoltsága nem ismert pontosan (ZUCCONI & LETIZI: *Ecophysiology of Tuber melanosporum ...*), a vizsgálatok főleg ezek kutatására terjednek ki: AGOSTINI et al. a termőtest sejtfal fehérjéit kódoló géneket vizsgálta SDS-PAGE elektroforézissel. GANDEBOEUF et al., GUTIERREZ & HONRUBIA a facsetetekertekben használt Tuber fajok azonosítására használt PCR vagy RAPD, RFLP módszereket tárgyalja. A már említett hazai akác-*Terfezia* beszámolón kívül HALL & WANG (*Commercial production of Tuber melano-sporum ...*) tölgy- és mogyoró ültetvényekkel, GIOMARO et al. (*Mycorrhizal synthesis of Tilia platyphyllos ...*) pedig hárs ültetvényvel kapcsolt szarvasgomba törzsek genetikai azonosításának és oltásos felszaporításának nehézségeiről számolnak be.

Az eddigiekben említett tanfolyamokhoz csatlakozva a Konferencián a következő *Workshopok* témafelvetései számíthatnak a legnagyobb érdeklődésre.

Molekuláris citológia, fiziológia és taxonómia. – Az ökológiai kutatásokat szolgáló morfológiai megfigyelések mellett a molekuláris módszerek terjednek a filogenetikai rokonsági körök felderítéséhez is: 18S DNS analízis (HAMBLETON et al.: *Phylogenetic relationships ...*), DDRT PCR (ADHOLEYA et al.: *SCAR-PCR markers for the detection of AMF...*). Kifejlesztett, jól működő módszerek elsősorban az ektomikorhizák körében vannak (közlemények száma 40, AM esetében csak 26), de a fejlődés igen gyors léptekkel halad e téren is. BRUNS és munkatársai a mitokondriális RNS-ek szekvená-

lásának adatbázisát tették közzé az EM gombák identifikálásához. RODRIGUEZ és DODD (*The screening of isolates of Gl. etunicatum ...*) a PCR módszer mellett izozim analízist és különféle festési eljárásokat is kipróbáltak, mivel közlésük szerint morfológiai úton csak a spórák 20 %-át lehetett biztonsággal meghatározni. ROSENDAHL (*Multiple codominant loci from AFLP libraries ...*) a spórák AFLP módszerrel történő azonosításáról tett említést, de a gyökérbelsőben való hifaidentifikálás kifejlesztését is reméli. A xyloglyconazok és a hidrolitikus enzimek termelődésének a mikorrhiza fajoktól függő különbözőségét állapította meg REJON-PALOMARES et al. (*Production of xylogluconase enzyme ...*), amely az eltérő kolonizációs képességekre adhat magyarázatot. Növénynövekedést serkentő hormonok (pl. jázmin-sav, zeatin ribozid) és mikorrhiza oltás pozitív hatását találta REGVAR és GOGALA (*Effects of jasmonic acid and zeatin ribozide ...*) a növény súly alakulására, de együttes alkalmazáskor az arbuszulumok képződése, tehát a gomba működőképessége visszaszorult.

Bolygatott és szennyezett ökoszisztémák ökológiája, növénytársulástan. – Megállapítást nyert, hogy kezdetben az AMF és az EMF kolonizáció is a bolygatás következtében (pl. külszíni fejtésű meddőhányókon) alacsony (GOLDOCK et al.: *EM communities on reclamation sites in lignite mining region*). A mikorrhiza oltás ezért pozitív hatású lehet. Bolygatatlan talajban, de organikus művelésű mezőgazdasági területeken is a mikorrhizáció és a diverzitás mindig nagyobb mértékű (GRAHAM & ABBOTT: *Functional diversity of AM fungi in the wheat rhizosphere ...*; ANSEBO & KLING: *Are AMF more abundant in organic apple orchards ...?*). A mikorrhiza törzsek alkalmazkodni képesek a különféle szennyező anyagokhoz (pesticidok, NaCl, nehézfémek) (CHAUDRY & ABDUL KHAN: *Heavy metal accumulation and tolerance in mycorrhizal metallophytes*; FENG et al.: *Effects of AMF... at NaCl stress condition*). Azok az izolátumok, amelyek stresszmentes környezetből származtak ugyanakkor nagyobb plaszticitással és variabilitással rendelkeztek (VOSATKA et al.: *Ecophysiological adaptations of indigenous AMF isolates ...*).

A növénytársulások összetétele (C3 és C4 típusú növények aránya) is jelentős változásokon mehet át a környezetszennyezés, így pl. a megnövekedett CO₂ kibocsájtás következtében (ROY & SCHIVHARN: *Effects of elevated CO₂ on the functioning of model ecosystems...*). A növények C-dinamikájának megváltozásával a mikorrhiza működőképessége, kolonizációjának a mértéke fokozódhat mind az AMF (RILLIG et al.: *AMF in annual grasslands and elevated CO₂*) és az EMF esetében is (ROUHER & READ: *Plant and fungal responses to elevated CO₂ in mycorrhizal Pinus silvestris*).

A mikorrhiza működőképességét befolyásoló biotikus tényezők. – Kimutatott tény, hogy a mikorrhiza oltások során az eredeti talaj–növény rendszer kapcsolódó mikrobaközössége is befolyásoló hatású lehet (FILION et al.: *Interaction between AMF and different rhizosphere microorganisms*; BAREA et al.: *The effect of bacterial inoculants ...*), mivel tömegük nem elhanyagolható. A *Pseudomonas*-ok száma pl. 10⁵–10⁸ cfu g⁻¹ száraz anyag között változott (SBRANA et al.: *The bacteria associated to Tuber are functionally active ...*). Ezért fordulhat elő az, hogy endofiták fertőzés esetenként ki sem alakul, mégis kedvező növénynövekedést serkentő hatásokat észlelhetünk. Ezekkel a mikorrhizához társult egyéb hasznos mikroorganizmusokkal (nitrogénkötők, *Pseudomonas*-ok) való együttes oltás is ily módon szinergista hatású lehet (BIRÓ et al.: *Enhanced stress buffer effect of associative and symbiotic N₂-fixers by AM fungi*; GUERRERO & RIVERA: *Mycorrhizae and nitrogen-fixers ...*), bár a gomba és a többi mikroba között kompetíciós viszonyok uralkodnak a rizoszféra kolonizációs helyeiért

(COOMBER et al.: *Mycorrhizal status affects populations of Fusarium ...*). A szinergizmus kifejlődése tehát ily módon erősen függ az alkalmazott törzsek és az eredeti talajban is található mikrobák közötti interakció milyenségétől (RAVNSKOV et al.: *Interactions between Glomus and the PGPR Pseudomonas fluorescens bacteria*). A hasznos mikroszervezetek aktivitásának fokozását lehet remélni ugyanakkor a különösen tápanyaghiányos, leromlott talajkörülmények esetén (DAHM et al.: *Impact of bacteria associated with mycorrhizosphere*), ahol a bennszülött populáció effektivitása is kisebb mértékű.

Alkalmazott mikorrhiza kutatások, remediáció. – A mikorrhizák kedvező tulajdonságai miatt világszerte folynak kísérletek a szimbiózis oltással történő mesterséges kialakítására. Különösen fontos lehet ez a mikroszaporított növények esetében, ahol a túlélési százalék és a későbbi növekedési arány is javulhat a megfelelően kompatibilis kapcsolat létrejöttével (VESTBERG et al.: *Can AMF be utilized in crop production ...*; SANCHEZ-GALLEN et al.: *Effect of AMF on growth of tree seedlings ...*). Az infekció kialakulásával pedig nemcsak a tápanyagfelvétel növekszik meg, hanem a talaj eredetű patogén mikrobák és/vagy a nematodák száma is csökken (HERNÁNDEZ-DORREGO et al.: *Growth response of the plum rootstock to AM inoculation .. in a replant soil infested with nematodes*), ezért volt lehetséges az alma talajuntságnak, valamint a *Phytophthora* fertőzésnek a mérséklése is az AM kolonizáció mesterséges kialakításával (UTKHEDE: *Use of mycorrhiza to alleviate the apple replant disease*).

A megfelelően toleráns mikorrhiza gombatörzsek különféle előtesztelésekkel kiválaszthatók és felhasználhatók szennyezett területek remediálására is, ill. a szennyezés mértékének a csökkentésére (BINET et al.: *Biodegradation of PAH in the mycorrhizosphere ..*). Különböző hulladékanyagok szaprofita- (*Aspergillus niger*) és endomikorrhiza (*Glomus deserticola*) gombával való együttes oltása is ígéretes remediációs, biotechnológiai módszernek bizonyult (RODRIGUEZ et al.: *Interactive effect on plant growth of mycorrhizal and A. niger inoculation ...*; ROBLES & BAREA: *Arbuscular mycorrhizas and soil quality*).

A mikrobapopulációk diverzitása. – Napjainkban egyre inkább felismerést nyer az a tény, hogy a környezeti tényezőknek tartósan kitett helyeken visszafordíthatatlan változások következhetnek be az évek során, ami lassan a faji diverzitás lecsökkenéséhez és a működőképesség elvesztéséhez is vezethet – „time bomb” effect (VÖRÖS et al.: *AMF colonization and metal uptake of spring barley at Cd, Ni and Zn contamination*). Ebből következően tehát a diverzitás mértékének nyomon követésével még a funkcióvesztés előtti időben figyelmeztető jelhez juthatnánk. A mikroszimbionta N₂-kötők és a mikorrhiza gombák bevonásával ily módon a jelenlegi nehézfémekre kidolgozott környezetvédelmi határértékek ésszerűsítésére is mód nyílna.

Az ektomikorrhizák esetében számos irodalmi adat található a faji összetétel alakulására a különféle talajkörülményekhez igazodva, hazai vonatkozásban azonban kiterjedtebb vizsgálatokra lenne szükség (JAKUCS & LÁSZLÓ: *Ectomycorrhizae on Fumana procumbens in a sandy area of Hungary*, RÖMER et al.: *Ectomycorrhizal diversity in conifer reforestation ...*). A spóraazonosítás bizonytalansága miatt ugyanezek a vizsgálatok az AM gombákkal további kutatásokat igényelnek (HARRIER & HOOKER: *Analysis of rRNA and phosphoglycerate kinase genes for studying biodiversity of AMF*).

A 2. Nemzetközi Mikorrhiza Konferencia Abstract kötetének közel 500 közleményéből a jelen dolgozatban kiemelt, referált kísérleti eredmények távolról sem fogják át a konferencia teljes skáláját. Leginkább a hazai kutatási eredményekhez elsősorban kapcsolódó összefoglalókat céloztuk meg bemutatni, hogy további segítséget adjanak az elkövetkezendő kutatási irányvonalak kialakításához. A feladat, a korszerű külföldi kutatásokhoz való felzárkózás szándéka különleges kihívásokat tartalmaz mind infrastrukturális, mind elméleti szempontból. Őszintén reméljük azonban, hogy az elkövetkező 3. Mikorrhiza Konferencián (2001, Brisbane, Ausztrália) is az említett irányvonalakhoz sikeresen felzárkózó hazai eredményekről számolhatunk be.

Érkezett: 1998. szeptember 15.

BIRÓ BORBÁLA és TAKÁCS TÜNDE

MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest