

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**EKTOMIKORRHIZÁS KAPCSOLATOK ÖKOLÓGIAI VIZSGÁLATAI:
Módszerek, környezeti manipulációk, és invazív fajok hatásai**

**ECOLOGICAL STUDIES OF ECTOMYCORRHIZAL RELATIONSHIP: METHODOLOGIES,
ENVIRONMENTAL MANIPULATIONS, AND EFFECT OF INVASIVE SPECIES**

Tóth Beáta

Témavezető

Dr. Tóth János Attila
egyetemi docens



DEBRECENI EGYETEM
Juhász Nagy Pál Doktori Iskola
Debrecen, 2013

BEVEZETÉS

A legújabb kutatások rávilágítottak, a szárazföldi növények közel 90%-nak legtöbb öko-fiziológiai tulajdonságát egy olyan talajbeli szimbióta kapcsolat – a mikorrhizás kapcsolat¹ – formálja, amely a növények gyökere és talajlakó gombák közötti együttműködés révén jön létre (Johnson és Gehring 2007). A gomba partner szénhidrátokat, vitaminokat, hormonokat „kap” a fotoszintetizáló gazdaszervezettől. „Cserébe” vizet, tápanyagokat „ad”, védelmezheti a gyökeret a patogén mikroorganizmusoktól, vagy akár magasabb rendű állatoktól is, növelheti a szárazsággal szembeni toleranciát, és csökkentheti a toxikus allelokemikáliák² hatását (Donnelly *et al.* 1993; Smith 1990; Colpaert 2008; Hoeksema *et al.* 2010). A mikorrhizák főbb típusai az arbuszkuláris (endomikorrhiza, AM), ekto- és ektendomikorrhizák. Ez a csoportosítás morfológiai bélyegek alapján történik, azt figyelembe véve, hogy a gombapartner behatol-e a gyökérsajtbe, ott különböző arbuszkuláris, képleteket kialakítva (endomikorrhiza), vagy csak a gyökér felszínét borítja be és a külső, laza szerveződésű kéregsejtek közötti járatokat behálózva úgynevezett Hartig-hálót alakít ki (ektomikorrhiza, EM), (Brundrett 2004). Funkcionális alapon egy mutualista, szimbióta kapcsolatról van szó, ahol a növénypartner és a gombapartner számára kölcsönösen előnyös az együttélés (Carlile *et al.* 2001). Az utóbbi évek kutatásaiból kiderült, hogy ez a kölcsönös előny nem feltétlenül azonos időben realizálódik, tulajdonképpen az ektomikorrhizás szimbiózis időben egy biotróf-szaprotrof kontinuum mentén mozoghat (Koide *et al.* 2008). Például vizsgálatok alapján Murat és kollégái (2005) arra a következtetésre jutottak, hogy a triflák (szarvasgombák) különböző táplálkozási stratégiák (szaprotrof, endofiton, szimbiózis) mentén mozognak aszerint, hogy az adott életciklusban milyenek a környezeti feltételek. Sőt a

1 .Görög eredetű szavak összeolvadásával jött létre: mycos, gomba; rhizon, gyökér. Magasabb rendű növények gyökerei és gombák közötti szimbiózis. Ha a gomba a gyökér felületén, ill. a gyökérsajt közé ékelődve helyezkedik el létrehozva az úgynevezett Hartig-hálót, ektomikorrhizáról, ha behatol a gyökér sejtjeibe, arbuszkulumokat alakítva ki, endomikorrhizáról beszélünk (Bánhegyi *et al.* 1985)

2 Allelokemikáliák: Valamely élőlény által termelt olyan biokemikália, amely egy másik élőlény növekedését, túlélését, szaporodását befolyásolja. Ez lehet pozitív, semleges vagy negatív hatású a célszervezetre nézve. Ezek a biokemikáliák általában szekunder metabolitok, tehát alapvetően nem szükségesek a termelőszervezet növekedéséhez, túléléséhez vagy szaporodásához.

kutatásokból az is kiderült, hogy a mikorrhizás kapcsolat nem közvetlenül a direkt kölcsönösség (reciprocity) elven működik (lásd például a myco-heterotrofia, a nem fotoszintetizáló növények mikorrhizáit, Bidartondo 2005, Hynson *et al.* 2009). A talajban több gombafajból álló micéliumhálózat egyszerre több növény-egyedet – de akár fajt is – magába foglaló bonyolult kapcsolatrendszerre teszi lehetővé, hogy a hálózaton keresztül folyó anyagáramlás következtében olykor egyfajta nettó előnyről lehet beszélni, ami nem feltétlenül egy adott gomba, vagy növény partnertől származik (egy növény és gomba egyed kapcsolata lehet, hogy az adott pillanatban az egyik fél számára előnyös a másiknak hátrányos, azonban ez időben és/vagy térben kiegyenlíthető; Brundrett 2004; Horton és Bruns 1998). A mikorrhizás gombák ökoszisztémában betöltött kulcspozíciójának köszönhetően ez a szimbiózis a globális folyamatok szempontjából is fontos (diverzitás csökkenése, klímaváltozás, emberi tevékenység okozta káros hatások). Kutatásaim során erdeink gombaközösségének összetételét és ökológiáját tanulmányoztam mind megfigyeléssel, mind kísérletes úton, különös hangsúlyt fektetve az ektomikorrhizás gombákra. Vizsgáltam, hogy különböző környezeti faktorok milyen mértékben befolyásolják az erdők talajának ektomikorrhizás gombaközösségét, ezen belül a tölgygagocok vékony-gyökérzetén kialakuló mikorrhizás kapcsolatok mértékét. A munkám során számos módszertani problémába ütköztem, így ezekre a felmerülő metodikai kérdésekre is választ kerestem értekezésemben.

CÉLKITŰZÉSEK

- Egy területet gombaállományát legegyszerűbben az előforduló fajok listájával jellemezhetjük, azonban a fajok mennyiségi adatainak hiányában erősen beszűkültek az elemzési lehetőségeink. Így például nincs semmilyen módunk az ökoszisztémában kulcsszerepet betöltő fajok, funkcionális csoportok azonosítására sem. Mennyiségi adatok (darabszám, biomassza) felhasználásával már részletesebben elemezhetjük az EM gombaközösséget. Az értekezésben ismertetem azt a módszertanilag új, a vizsgálandó egyedeket nem károsító egyszerűen eljárást, amit a gombatermőtestek biomasszájának a becslésére dolgoztunk ki (4.1 fejezet). Teszteltük, hogy a termőtestek irodalmi adatait (maximális kalapátmérő) felhasználva, milyen pontossággal becsülhető egy adott területen talált nagygomba termőtestek biomasszája.

Tóth BB, Feest A (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany* 85: 652–658. Impact Factor: 0.98 (Publikálás évében)

- A molekuláris fajazonosítási módszerek fejlődésével és elterjedésével könnyebbé vált, s így előtérbe került a gyökereken lévő mikorrhiza azonosítása és felmérése. Azonban egy adott területen a termőtesteken alapuló felmérések, illetve a mikorrhizán alapuló felmérések a legtöbb esetben eltérő összetételű ektomikorrhiza közösségről adnak számot. Az értekezés következő részében áttekintem a kétféle módszerrel végzett felméréseket, és elemzem az eredményeik között lévő különbségek mértékét és lehetséges okait (4.2 alfejezet).

Tóth, B.B., Barta, Z. (2010) Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. *Fungal Diversity*. 45(1):3-19. Impact Factor: 5.08 (publikálás évében)

Az értekezés további részében a terepi kísérleteim eredményeit adom közre.

- A mérsékelt övi erdők fái szinte kivétel nélkül ektomikorrhizas kapcsolatban élnek (Smith 1997). Ezen kapcsolat révén a két organizmus reciprok kölcsönhatásban befolyásolja egymás életfolyamatait, az interakciók mértéke, kimenetele azonban nagymértékben függhet a résztvevők kondíciójától. Vizsgáltam a partnernövény kondíciójának hatását az ektomikorrhizas gombapartnerrel kialakított szimbionta kapcsolatra. Mikorrhizáltsági viszonyok szintjét mértem és elemeztem egy terepi kísérlet során, ahol természetes újulató tölgyemagocokon (*Quercus robur* L.) levéltávolítással és/vagy makkeltávolítással manipuláltam a gazda növény állapotát (4.3

alfejezet).

Tóth B, Tóth JA: Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings development and ectomycorrhizal interaction -a field study. (in prep.).

- A következő részben (4.4 alfejezet) környezeti faktorok szerepét tanulmányoztam a gomba és növénypartner közötti mikorrhizás kapcsolat alakulásában. Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy az avarból kioldódó anyagok megváltoztathatják a mikorrhizás gombák aktivitását. Kísérletesen, a talajt borító avarréteg mennyiségi és minőségi manipulálása révén vizsgáltam az avar és a tölgygagocok növekedése, túlélése, valamint ektomikorrhizáltsági (EM) viszonyuk közötti összefüggéseket. Az avarminőség hatásának vizsgálatokor a Közép-Európában legproblémásabb tájidegen fafajának, az akácnak a (*Robinia pseudoacacia* L.) lombvarját használtam. Agresszív, invazív jellege miatt mára világszerte küzdenek a faj visszaszorításáért (Williams 1997). Ökofiziológiai tulajdonságainak megértése elősegítheti ezen törekvéseket. Az invazív biológiai kutatások szinte kivétel nélkül a föld feletti folyamatokra fókuszálnak, míg nagyon keveset tudunk a föld alatt lejátszódó folyamatokról, mint például, hogy milyen a mikorrhizás gombák szerepe a növények inváziójában (4.4 fejezet).

Tóth BB, Kata E, Tóth JA: The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native oak tree seedlings. (in prep.)

MÓDSZEREK

A módszertani leíró kutatások során az erdőkben előforduló összes nagygomba termőtestére kiterjedt a vizsgálat, függetlenül életmód szerinti elkülönítésre. Így a biotróf³ (ektomikorrhiza⁴, parazita⁵), és szaprotróf⁶ fajok is a vizsgálat tárgyát képezték (az endomikorrhizás fajok nem képeznek termőtestet). Az elemzéshez szükséges termőtestek begyűjtése a Heves-Borsodi dombság területén történt. Míg az összegző és kísérletes vizsgálatokban csak az ektomikorrhizás gombák képezték a kutatásom tárgyát. A terepi kísérletekben a felvételezés a gyökereket borító mikorrhiza alapján történt, termőtestes vizsgálat nélkül. Ezek a terepi vizsgálatok a Debreceni Egyetem Botanikus Kertjében folytak, ahol egy idősebb (80 év feletti), a Nagyerdőhöz tartozó

3 Biotróf: élő szervezetek anyagát használja fel, azok sejtjeiből vonja el a tápanyagot.

4 Ektomikorrhiza: Élő anyagból táplálkozik, az együttélés a gomba és a növénypartner számára is előnyös.

5 Parazita: élő anyagból táplálkozik, élősködő életmódot folytató szervezet, a növénypartner számára előnytelen a kapcsolat.

6 Szaprotróf: elhalt szerves anyagon élő szervezet.

kocsányos tölgyes erdőrészlet található.

EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

Dolgozatomban áttekintettem a nagyomba közösségek terepi felmérési módszereit, ezen belül részletesen tárgyaltam az ektomikorrhizas (EM) gombák felmérése során alkalmazott diverzitás becslési eljárásokat, ezek előnyeit és hátrányait. Ugyancsak tárgyaltam terepi kísérleteim eredményeit, melyben az EM gombák és tölgygagocok mikorrhizas kapcsolatának ökológiáját vizsgáltam. Felhívtam a figyelmet a fajlisták adatainak korlátozott felhasználhatóságára, s hogy a nagy igény ellenére ezidáig nem forrt ki egy egységes, a többség által elfogadott standardizált mennyiségi és minőségi felmérési módszer. Ezen igény részleges kielégítésére egy új, egyszerűen kivitelezhető, nem destruktív, de igen informatív termőtesten alapuló biomassa becslési módszert javaslok. A módszer alapja, hogy a felvételezések során megtalált termőtestek darabszámát és a fajok irodalomban közölt kalapátmérőjét használja, ebből kalkulálja ki a Kalapterület Indexet ($CAI_i = n_i \pi d_i^2 / 4$). Kimutattuk, hogy ez az index szorosan korrelál az azonos mérőnégyzetekből származó termőtestek összesített száraz tömegével. Ugyancsak kimutattuk, hogy a Kalapterület Index részesedése a biomassa variancia (R^2) magyarázatában lényegesen nagyobb mintha csak a darabszámot használnánk. Ezáltal a Kalapterület Index pontosabb becslését adja a föld feletti termőtestek biomasszájának, mint a termőtestek darabszáma egyedül.

Eredményeink szerint a mintaterületek Kalapterület Indexszel becsült nagyomba termőtest biomassa értékek alapján történt sorba rendezése konzisztens a mért száraz tömeg szerinti nagyomba termőtest biomassa alapján készült területsorrenddel. E szerint módszerünk alkalmas a különböző területek időbeli és térbeli összevetésére is, akár régi adatbázisokat használva is. A módszer lehetőséget ad egy terület nagyomba közösségének a tér-időbeli nyomon követésére is, s a szaprotróf fajokról is gyűjthetünk adatokat. Mivel a termőtest képzés sokkal érzékenyebb a környezeti változásokra mint a vékony-gyökéren található vegetatív ektomikorrhiza (EM) közösség, így gyorsabban reflektálhat egy az ökoszisztémát ért zavarásra

(Last *et al.* 1979). A termőtestes vizsgálatok alkalmasak lehetnek a terület és a környezet változásának korai detektálására, s egy könnyen alkalmazható módszer a konzerváció-biológusok és a gyakorlati szakemberek számára.

A dolgozatom következő részében elemeztem azokat a tanulmányokat, melyek egy terület nagyomba állományának a vizsgálatokor egyszerre termőtestes és mikorrhizas felvételezést is végeztek. Az ökológiai vizsgálat felvételezése során felmerül a kérdés, hogy a gomba mely részét vegyük számba, a termőtesteket, vagy a mikorrhizas gyökérvégeket? Áttekintve azokat az ökológiai tanulmányokat, amelyek az EM gombaközösségek vizsgálatokor mind (i) a termőtestek, mind (ii) a mikorrhizas gyökérvégek felvételezését is elvégezték, választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a különböző módszerekkel nyert adatokból hasonló következtetések vonhatók-e le a vizsgált ökológiai folyamatok tekintetében. Kimutattuk, hogy annak ellenére, hogy a közösség összetételére nézve a kétféle vizsgálati módszer eltérő eredményt hozott, mégis hasonló kapcsolatot detektáltak a mért környezeti változók (pl.: kísérleti manipulációk, szukcessziós változások, környezeti zavarások) és a gombaközösségek között. Az áttekintett tanulmányok (N=37) eredményeit analizálva ugyancsak pozitív összefüggést találtam az EM gombaközösség fajgazdagsága és (i) a partnernövény kora, valamint (ii) a lehetséges partnernövény fajok száma között, az alkalmazott módszertől függetlenül. A metodikai változók közül, csak a talajminták számának (mikorrhizas vizsgálatok esetén), valamint a vizsgálat időtartamának (csak a termőtestes vizsgálatok esetén) volt szignifikáns pozitív hatása a fajgazdagságra. Az áttekintett tanulmányok 73%-a talált nagyobb fajgazdagságot, s több explicit fajnevet a termőtestes vizsgálat alapján, mint a gyökérvégek vizsgálatával. Jelenleg az EM kutatások során alapvetően a mikorrhizáltsági adatokra támaszkodnak a kutatók, melyeknek nagy részét jelenleg pár kutatócsoport eredményei adják, főleg az északi félteke boreális éghajlatú fenyőerdeinek vizsgálatával. Azonban, hogy megtaláljuk az utat a fenntartható ökoszisztémák felé, rendkívül fontos, hogy a Föld egészéről származzanak adataink. A fenti

eredmények mindenképpen a termőtestes vizsgálatok folytatása mellett szólnak, amelyek révén széles idő és térbeli skálán, gyors és mégis értékes információhoz juthatunk az ökoszisztémákról. A két módszer együttes alkalmazásával pedig átfogóbb képet kaphatunk a vizsgált terület EM gombaközösségéről

Terepi kísérleteinkben először természetes újjulatú tölgymagoncok vékony-gyökérzetének (*Quercus robur* L.) mikorrhizáltsági viszonyaiban, növekedési és túlélési paramétereiben bekövetkezett változásokat vizsgáltuk levél- és makkeltávolítást követően. Kimutattuk, hogy a különböző beavatkozások eltérő választ eredményeztek a növények viselkedésében és a rövid és a hosszabb távú hatás is különbözött. A levéleltávolítás hatására kezdetben lecsökken a vékony-gyökérzet mikorrhizáltsági foka, de ez még nem túl számottevő ahhoz, hogy a túlélésükre, növekedésükre kimutatható hatással lenne. Hosszabb távon már szignifikáns interakciót találtunk a levél- és a makkeltávolítás között. Szignifikánsan magasabb mikorrhizáltsági szintet találtunk a csak levéleltávolítással kezelt magoncok gyökérzetén, kicsit csökkenő növekedéssel, de változatlan túlélési mutatókkal mint a kontroll csoport. Ezzel ellentétben kimutattuk, hogy a makkeltávolítás hatására szignifikánsan csökkent a magoncok növekedése és túlélése, míg a mikorrhizáltsági szintre rövid távon nem volt hatása a kezelésnek, hosszabb távon pedig a levéleltávolítással megegyező hatást találtunk, megemelkedett a vékony-gyökérzet mikorrhizáltsági szintje. Ezek alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy a környezeti hatások következtében igen dinamikusán változik a gyökérvégek mikorrhizáltsága, s hogy milyen időintervallumot választunk a kezelések hatásának elemzésére a vizsgálatunkban döntően befolyásolhatja a kapott eredményeinket.

Második terepi kísérletem során az avar minőségének és mennyiségének a hatását vizsgáltam a területen őshonos kocsányos tölgymagoncok mikorrhizáltsági viszonyaira, növekedésére, túlélésére. A következő kezeléseket alkalmaztam: (i) teljes avareltávolítás (nincs avar, NA), (ii) avar megduplázása (dupla avar, DA), (iii) az eredeti avart eltávolítottuk és akácavart

(*Robinia pseudoacacia* L.) tettünk a helyére (akác avar, AA), (iv) bolygatott avar (BA) (a bolygatás hatásainak kontrollálására), (v) nincs kezelés (kontroll, K). Az eredmények szerint a kezelés befolyásolja a tölgymagoncok vékony-gyökérzetének ektomikorhizás állapotát. Kimutattuk, hogy az avar eltávolítás hatására a gyökérvégek mikorrhizáltsága nőtt, míg az akácavarral történő borítás hatására a mikorrhizáltság csökkent. Kezelésektől függetlenül szignifikáns pozitív összefüggést mutattunk ki a növények mért növekedési változói és a gyökérzetük mikorrhizáltsági szintje között. Ugyancsak kimutattuk, hogy az akácavaros és az eltávolított avaros parcellákban növekvő magoncok gyökérzete szignifikánsan rövidebb volt a kontrollhoz képest. A bolygatott és a dupla avarral borított területeken nem változott a mikorrhizáltsági szint a kontrollhoz képest. A lombavar mennyiségének és minőségének a változása hatással lehet a talaj tápanyag és polifenol összetételére, valamint az avarból kioldódó egyéb anyagok ugyancsak megváltoztatják a mikorrhizás gombák aktivitását. Kísérletünkéből kiderült, hogy már a tájidegen, invazív akác lombavarja is elegendő ahhoz, hogy megváltoztassa az őshonos fafajok és mikorrhiza gombapartnerük között kialakult kifinomult ökológiai kapcsolatrendszeret és így akár gátolhatja azok növekedését, fejlődését. Ez a hatás megnövelheti ezen agresszívan terjeszkedő invazív faj térhódítási potenciálját egy őshonos növényfajokból álló ökoszisztémában.

Vizsgálatainkat összegezve elmondhatjuk, hogy a termőtestes vizsgálatokkal jól becsülhető a nagygombaközösség biomasszája és fajgazdagsága, s releváns eredményt adnak az ökológiai vizsgálatok során. Míg a terepi vizsgálatokból kiderült, hogy a mikorrhiza mediálja a növénypartnerre érő külső környezeti változások hatásait és kiegyensúlyozza a belső állapotot érő változások hatásait. Ennek révén mind a talaj, mind a növényközösség összetételére hatással lehet, s így kulcsfaktor az adott ökoszisztéma formálásában.

AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

A nagygomba termőtestek biomassza becslésének új módszere

Tóth, B.B; A, Feest. (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. Canadian Journal of Botany Vol.85: 652–658

Impact Factor: 0.98 (megjelenés évében)

Egyszerűen kivitelezhető, nem destruktív, de igen informatív termőtesten alapuló biomassza becslési módszert dolgoztunk ki. Kimutattuk, hogy az általunk javasolt Kalapterület index (irodalmi adatok alapján a faj maximum kalapátmérővel számolt kalapterület \times a faj talált termőtest darabszáma, $CAI_i = n_i \pi d_i^2 / 4$) szorosan korrelál az azonos mérőnégyzetekből származó termőtestek összesített száraz tömegével. Ugyancsak kimutattam, hogy a Kalapterület Index részesedése a biomassza variancia (R^2) magyarázatában lényegesen nagyobb mintha csak a darabszámot használnánk. Ezáltal a Kalapterület Index pontosabb becslését adja a föld feletti termőtestek biomasszájának, mint a termőtestek darabszáma egyedül.

Ektomikorrhizas gombák ökológiai szempontú tanulmányozása: a felvételezési módszerek analízise.

Tóth, B.B., Barta, Z. Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. Fungal Diversity (2010) 45:3-19. DOI: 10.1007/s13225-010-0052-2 Impact Factor: 5.08 (megjelenés évében)

Kimutattuk, hogy annak ellenére, hogy az EM közösség összetételére nézve a termőtestes, illetve a mikorrhizas felvételezésen alapuló vizsgálatok eltérő eredményeket hoztak, mégis hasonló kapcsolatot detektáltak a mért környezeti változók (pl.: kísérleti manipulációk, szukcesziós változások, környezeti zavarások) és a gombaközösségek között. Az áttekintett tanulmányok (N=37) eredményeit analizálva ugyancsak pozitív összefüggést találtunk az EM gombaközösség fajgazdagsága és (i) a partnernövény kora, valamint (ii) a lehetséges partnernövény fajok száma között, az alkalmazott módszertől függetlenül. A metodikai változók közül, csak a talajminták

számának (mikorrhizás vizsgálatok esetén), valamint a vizsgálat időtartamának (csak a termőtestes vizsgálatok esetén) volt szignifikáns pozitív hatása a fajgazdagságra. Kimutattuk, hogy az áttekintett tanulmányok 73%-a talált nagyobb fajgazdagságot, s több explicit fajnevet a termőtestes vizsgálat alapján, mint a gyökérvégek vizsgálatával. Levél- és makkeltávolítás hatása a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) magoncok mikorrhizáltsági fokára egy alföldi homoki tölgyes társulásban

Kimutattuk, hogy a levél és a makkeltávolítás eltérő választ eredményezett a növények viselkedésében és a rövid és a hosszabb távú hatás is különbözött. A levéltávolításnak rövid, illetve hosszabb távon sem volt hatása a magoncok növekedésére, túlélésére. Makkeltávolítás hatására csak rövid távon csökkent a magoncok növekedése, hosszabb távon nem volt kimutatható hatása a növekedésükre, azonban túlélésük 5 hónap elteltével szignifikánsan lecsökkent. Az ektomikorrhizáltsági kapcsolatrendszer vizsgálva megállapítottuk, hogy a levéltávolítás hatására kezdetben lecsökken a vékony-gyökérzet mikorrhizáltsági foka, ősszel azonban már szignifikánsan magasabb mikorrhizáltsági szintet találtunk a levéltávolítással kezelt magoncok gyökérzetén. A makkeltávolításnak a mikorrhizáltsági szintre rövid távon nem volt hatása, hosszabb távon pedig a levéltávolítással megegyező hatást találtunk, megemelkedett a vékony-gyökérzet mikorrhizáltsági szintje.

Az avar eltávolítás hatása az őshonos fák magoncainak fejlődésére, gyökérzetük mikorrhizáltsági szintjére

Kimutattuk, hogy az avar eltávolítás hatására a gyökérvégek mikorrhizáltsága nőtt, míg az akácavarral történő borítás hatására a mikorrhizáltság csökkent. Kezelésektől függetlenül szignifikáns pozitív összefüggést mutattunk ki a növények mért növekedési változói és a gyökérzetük mikorrhizáltsági szintje között. Ugyancsak kimutattuk, hogy az akácavaros és az eltávolított avaros parcellákban növő magoncok gyökérzete szignifikánsan rövidebb volt a kontrollhoz képest.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Számos személy segítsége kellett ahhoz, hogy ez az értekezés elkészüljön, s ezúton szeretném köszönetemet és hálámat kifejezni ezeknek az embereknek.

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Tóth János Attilának a szakmai segítségét.

Dr. Alan Feestnek köszönöm az izgalmas terepi bejárásokat, beszélgetéseket és ötleteket a módszertani vizsgálatok során. Dr. Jakucs Erzsébet vezetett be a mikorrhiza vizsgálatok módszertanába, de ezen felül is segítette, támogatta munkámat. Dr. Vasas Gizella önzetlenül, idejét nem sajnálva segített a gomák meghatározásában. Dr. Nagy Péter talajtani kérdésekben adott tanácsokat, míg Kata Enikő a kísérletek során a terepmunkák kivitelezésében segített. Külön köszönet jár Ifj. Székely Tamásnak és Erdős Zsoltnak, akik az angol nyelvi korrektúrában segítettek.

Természetesen köszönöm azon szervezetek (személyek) pozitív, támogató hozzáállását is a munkámhoz, akik a tulajdonukban/kezelésükben lévő területeken engedélyezték a terepi munkákat, így a Bükk Nemzeti Parknak, a Heves-Borsodi Erdészetnek és a Debreceni Egyetem Botanikus Kertjének, valamint munkatársaiknak.

Köszönettel tartozom jelenlegi munkaadómnak, Prof. Dr. Fésüs Lászlónak, aki biztatott és támogatta, hogy munkám mellett befejezzem a disszertációt.

Mindezen túl, azonban mégsem készült volna el ez a dolgozat családom és a barátok kitartó szeretete, biztatása és támogatása nélkül. Nekik is köszönöm!

PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

Referált cikkek

Tóth, B.B., Barta, Z. (2010) Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. *Fungal Diversity*. 45(1):3-19. **Impact Factor: 5.08** (megjelenés évében)

Tóth, B.B; A, Feest. (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany* Vol.85 : 652–658

Impact Factor: 0.98 (megjelenés évében)

Tóth, B, Feest, A. (2003) Nagygomba (Agaricales, Boletales, Gasteromycetales) állományok felmérésének egy új módszere a kozervációbiológia fényében. *Mikológiai Közlemények, Clusiana*, Vol.42. No 3. pp.:17-34.

Tóth, B (1999) Adatok a Gyepes-völgy (Heves Borsodi Dombság) nagygombáiról. *Kitabelia*, Vol.4, No. 2, pp.:261-270

Tóth, B (1999) Gombacönológiai vizsgálatok a Gyepes-völgyben (Heves Borsodi Dombság). *Clusiana Mikológiai Közlemények*, Vol.38. No 1-3. pp.:25-52.

Impact factorok: a publikálás évében

Konferencia

Tóth, B (2005) Levél- és makkeltávolítás hatása a Kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) magoncok mikorrhizáltsági fokára egy alföldi homoki tölgyes társulásban. **III. Magyar Mikológiai Konferencia**, Mátraháza, Poszter.

Tóth, B, Tóth, JA (2005) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study

1st. Central European Forum for Microbiology (**CEFOM**), Keszthely. Angol nyelvű előadás. Abstract: *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*. Vol:52 Supplement. pp.: 6-7.

Tóth, B., A. Feest (2005) Új módszer a nagygomba állományok felmérésében a konzervációbiológia fényében. Magyar Biológiai Társaság Természetvédelmi Konferenciája, Eger. Poszter.

Tóth, B, Tóth, JA (2006) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study.

5th International Conference on Mycorrhiza (**ICOM 5**), **Granada**, Spain. Poszter.

Tóth, B (2006) Levél- és makkeltávolítás hatása a Kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) magoncok mikorrhizáltsági fokára egy alföldi homoki tölgyes társulásban. 7. Magyar Ökológus Kongresszus (**MÖK**), Budapest, Poszter.

B. Tóth B., Kata E., Nagy P. T., Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008) Az avar minőségének és mennyiségének hatása az ektomikorrhizás gombák és őshonos fák magoncainak kapcsolatára a talajadottságok figyelembevételével. **4. Magyar Mikológiai Konferencia**. Debrecen, Május 29-31. Poszter.

B. Tóth B., Kata E., Nagy P. T., Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008) Az avar minőségének és mennyiségének hatása az ektomikorrhizás gombák és őshonos fák magoncainak kapcsolatára a talajadottságok figyelembevételével. „Molekuláktól a globális folyamatokig” V. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia, Nyíregyháza, 2008. november 6-9. Poszter. Abstract: pp.: 71.Poszter.

B. Tóth B., Kata E., Nagy P. T., Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008):The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native tree seedlings, modulated by the soil environment. **21st New Phytologist Symposium** The ecology of ectomycorrhizal fungi. Centre for Evolutionary & Functional Ecology (CEFE-CNRS) Montpellier, France, 10-12 December, 2008, abstract:pp.: 70. Poszter.

B. Tóth, B., Barta, Z.(2011):Erdők nagyomba biodiverzitásának becslése: Módszertani vonatkozások. **VI. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia**, Debrecen, absztrakt: pp.: Poszter.

B. Tóth, B., Barta, Z.(2012):Erdők nagyomba biodiverzitásának becslése: Módszertani vonatkozások. **5. Magyar Mikológiai Konferencia**. Budapest. absztrakt: pp.:Poszter.

B. Tóth, B., Barta, Z.(2012):Erdők nagyomba biodiverzitásának becslése: Módszertani vonatkozások. **9. Magyar Ökológus Kongresszus (MÖK)**, Keszthely, absztrakt: pp.:26. Poszter.

Egyéb publikáció:

Tóth, B (1999) Adatok a Gyepes-völgy (Heves Borsodi Dombság) nagyombáiról. Diplomamunka, Kossuth Lajos Tudományegyetem, Debrecen

Tóth, B (1994) Adatok a Heves Borsodi Dombság Nagyombáiról. Kutatási jelentés Bükki Nemzeti Park, Eger

DÍJAK:

- 2008: New Phytologist travel award a 21. New Phytologist Szimpóziumon való részvétel támogatására. Montpellier, Franciaország.
- 2001: Universitas Alapítvány, Utazási ösztöndíj Dr.Alan Feest meglátogatására, University of Bristol, UK
- 1999: XXIV. OTDK Természettudományi szekció, Növényökológia-Florisztika-Fitocönológia tagozat II. helyezés
- 1996: Leidenfrost Alapítvány, egy éves hallgatói ösztöndíjas
- 1996: Universitas Alapítvány, egy éves hallgatói kutatói ösztöndíj
- 1995: KLTE. Természettudományi Kar, Nyári Kutatási ösztöndíj
- 1995: Leidenfrost Alapítvány, tanulmányi ösztöndíj

INTRODUCTION

Recent studies shed light on the fact that most of the plant's ecophysiology is shaped by symbionts. For instance, the roots of cc. 90% of terrestrial plant species associate with soil fungi to form mycorrhiza⁷ (Johnson és Gehring 2007). The fungal partners “receive” saccharides, vitamins, hormones from the photosynthetic hosts. In return, they “give” water, nutrients to the plant partner, may provide protection against pathogens, increase tolerance against drought, and alleviate the toxic effects of allelochemicals⁸ (Donnelly *et al.* 1993; Smith 1990; Colpaert 2008; Hoeksema *et al.* 2010). The main types of mycorrhiza are the arbuscular (endomycorrhiza, AM), ecto-, and ect-endomycorrhiza. These groups have been recognized in view of their morphological features, i.e. whether the fungi penetrate into the root cells to form various arbuscular structures there, or only develop sheaths on the root surfaces, and is connected to an intercellular network of hyphae known as a “Hartig net” in the root cortex (ectomycorrhiza, EM) (Brundrett 2004). Functionally, it is a mutualistic, symbiotic relationship, where the partnerships is mutually beneficial for the co-existing plant and fungus partners (Carlile *et al.* 2001). Research in recent years has revealed, that this mutual benefit is not necessarily realized at the same time by both partners; in fact, the ectomycorrhizal symbiosis move along a biotrophic-saprotrophic continuum in time (Koide *et al.* 2008). For example, in the study of Murat and his colleagues (2005) concludes that Truffles seem to use different nutritional strategies (saprotrophic, endophytic and symbiotic) depending on the environmental conditions and the phase of their life cycles. Researches have also pointed out that the mycorrhizal relationship does not work directly in line with the principle of direct reciprocity (for example myco-heterotrophy, ectomycorrhiza of non-photosynthetic plants, Bidartondo 2005, Hynson *et al.* 2009). The complexity of the mycelial

7 Derived from the Greek words created by the merger of mycos, fungi, rhizon, root. Symbiosis between fungi and the roots of higher plants. If the fungus located on the root surface, and only inserted into the root cells to create the so-called Hartig net, it can be regarded as ectomycorrhiza whereas when it penetrates into the root cells to form vesicles-arbusculums, it is considered to be endomycorrhiza (Bánhegyi *et al.* 1985).

8 Allelochemicals: biochemicals produced by any living organism that affects the growth, survival and reproduction of other organism. It can have positive, neutral or negative effects on the target organism. These biochemicals are usually secondary metabolites, so it is basically not necessary for the growth, survival or reproduction of the producer organism.

network of several fungal species linked up in the soil to form multiple plant specimens – or even multiple species - allows the transfer of nutrients among the partners, and owing to this nutrient transfer network there exists a kind of net advantages because of the given relationship. This does not necessarily originate from a specific fungal or plant partner; at a given moment, the unique relationship between plant and fungus may be preferable for either party, while being disadvantageous for the other; however, this situation may become outbalance over time and / or space (Brundrett 2004; Horton and Bruns 1998). Due to its key role and position in ecosystems, the mycorrhizal fungal symbiosis is also important to understand global processes (diversity loss, climate change, human-induced adverse effects). During our research, the community composition and ecology of wild fungi were studied both observationally and experimentally, with special emphasis on ectomycorrhizal (EM) fungi. We investigated the extent to which the various environmental factors affect forest soil EM fungal community, including the mycorrhizal level of the thin-roots of oak seedlings. During our work, we encountered a number of methodological issues, and therefore in this dissertation I was also looking for answers to the methodological issues that were faced.

GOALS

- The easiest way to characterize the fungal community of an area is to take the list of prevailing species. However, lack of quantitative data on the species strongly restricts the analytical options. For example, there it is practically impossible to identify species and functional groups with key roles in the ecosystem. Using abundance quantitative data (number, biomass), we are able to analyze the EM fungal community in more details. In this dissertation, I am presenting our newly developed, simple and non-destructive methodology to assess the biomass of fungal fruiting bodies in an area. We have tested how accurately the biomass of fungal fruiting

bodies found (counted) can be estimated in a given area, with the use of literary data (maximum diameter of the cap)(Section 4.1).

Tóth BB, Feest A (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany* 85: 652–658. Impact Factor: 0.98 (in the year of publication)

- Due to the development and spread of molecular biology-based fungal identification methods, the identification and evaluation of fungal partners on mycorrhized roots have become easier and more prevalent. Nevertheless, in most cases the composition of the EM community based on the sporocarp survey considerably differs from the results obtained from the mycorrhizal survey in the same habitat. In the next part of this thesis, I will review the surveys applying the two methods, and analyze the extent and possible causes of the differences between the results (Section 4.2).

Tóth BB, Barta Z (2010) Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. *Fungal Diversity*. 45(1):3-19. Impact Factor: 5.08 (in year of publication)

The following part of my thesis discusses the results of our field studies.

- Trees in the temperate zone almost exclusively live in symbiosis with ectomycorrhizal fungi. Due to this relationship, the two kinds of organisms have reciprocal influence on each others' life processes, but these interactions may predominantly depend on the conditions of the participants. In this study, our main goal has been to examine the effects of the conditions of plant on the symbiotic relationship formed with EM fungus partners. The level of mycorrhizal relationships were measured and analyzed in a field experiment where the status of the host plant, the naturally growing oak (*Quercus robur* L.) seedlings was manipulated by defoliation and/or acorn deprivation (Section 4.3).

Tóth B, Tóth JA: Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings development and ectomycorrhizal interaction -a field study. (in prep.).

- In the next section (Section 4.4), I have studied the possible effects of environmental factors on the relationship between mycorrhizal fungi and their plant partners. Soluble litter extracts have been shown to modify mycorrhizal fungal activity. Here, we experimentally investigated how the quality and quantity leaf litter influence the growth, survival and ectomycorrhizal development of naturally growing pedunculate oak seedlings. To study the effects of litter quality on native plants, we used the litter of the most problematic invader tree species in Central Europe, the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.). Due to aggressive and invasive nature of this species, there is a worldwide struggle for their suppression (Williams 1997). Understanding the ecophysiological characteristics of this species could facilitate these efforts. The altered soil microbial communities and their resultant effects on ecosystem processes can potentially be an invisible legacy of exotic plant invasions. Invasive biological research has almost exclusively focused on above-ground processes, while very little is known about the processes taking place in the ground, such as the nature of the role of mycorrhizal fungi in plant invasion (Section 4.4).

Tóth BB, Kata E, Tóth JA: The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native oak tree seedlings. (in prep.)

METHODS

While investigating methodological questions, we considered all the existent fungal sporocarps in forest plots, independently from the trophical status of the fungi. Thus, biotroph⁹

⁹ Biotrophic: it uses the materials of living organisms, withdraws nutrients from their cells.

(ectomycorrhiza¹⁰, parazita¹¹), and saprotroph¹² species were to be involved in the studies. For analytic purposes, the fruiting bodies were collected in the area of the Heves-Borsodi Hills. In the case of synthesis and experimental studies (Section 4.2, 4.3 and 4.4), only ectomycorrhizal fungi were considered. Field experiments were based on the survey of mycorrhizal roots without sporocarp survey. These field studies were carried out in an cc. 80 year old pedunculate oak forest, which is part of the Great Forest of Debrecen, situated in the Botanical Garden of the University of Debrecen.

RESULTS AND DISCUSSION

In my thesis I have had an overview on the methodologies used in fungal community surveys, and discussed in details the applied procedures for ectomycorrhizal fungal diversity assessment, their advantages and disadvantages. The results of the field experiments concerning the ecological aspects of mycorrhizal relationship between EM fungi and pedunculate oak seedlings have been discussed, as well.

I have highlighted the limited usability of data from species lists, and the fact that in spite of its being highly demanded there is no simple, standardized method for quantitative and qualitative surveys adopted by the majority of fungal ecologists. To partially satisfy this demand, our study proposes a simple, non-destructive, but still informative method to assess fungal sporocarp biomass in forested areas. We rely on the number of fruit bodies found in the surveyed plots and literature data on the maximal cap diameter of the species to calculate a 'Cap Area Index' ($CAI_i = n_i \pi d_i^2 / 4$). It has been suggested that this index very strongly correlates with the measured total dry weight of the given species obtained from the same plots. We have pointed

10 Ectomycorrhiza: it uses the materials of living organisms with the cohabitation being beneficial for both the fungus and the plant partner.

11 Parasite: it uses the material of living organisms and the relationship is rather non-beneficial for the plant partner.

12 Saprotrophic: it use the material of dead organisms.

out that the proportion of variation in biomass explained by the number of fruit bodies (R^2) was considerably smaller than the variation explained by the Cap Area Index. Therefore 'Cap Area Index' offers a more accurate estimation of the epigeous fungal sporocarp biomass than the sporocarp number of the species alone. We have found that fungal sporocarp biomass estimated by the Cap Area Index allows the plots to be ordered consistently with the order obtained on the basis of the dry weight of collected fruiting bodies, and hence it provides a simple way to compare the sites over space and time, even with the use of the old databases. Furthermore, this new methodology is suitable for following the spatiotemporal distribution of any fungal community in an ecosystem, while data on saprotrophic species can also be included. Since sporocarp production is believed to respond much more sensitively to environmental changes than does the fine-root vegetative ectomycorrhiza (EM) community, surveys based on fruiting bodies may more readily reflect whether an ecosystem has been perturbed (Last et al. 1979). In consequence, the sporocarp survey can be viewed as an easily applicable method for conservation biology and ecosystem management.

In the following part, we have investigated the following question: which part of the fungi should be surveyed during an ecological study? The fruiting bodies or the mycorrhizal stage? By reviewing ecological studies of ectomycorrhizal fungi where both fruiting bodies and mycorrhizal root tips were simultaneously surveyed, we examined whether the diversity data having been obtained with the two methods led to similar conclusions in relation to the underlying ecological processes of interest. Despite discrepancies in identifying the species, we found that both survey methods revealed similar responses by the ectomycorrhizal fungal communities to experimental manipulations, successional changes and environmental disturbances. By analyzing the results of the reviewed studies ($n=37$), we found positive relationships between fungal species richness and (i) the host plant age and (ii) the number of putative host plant species, independently from the applied survey method. Of the methodological variables, only the number of soil samples (mycorrhizal approach) and the duration of the study

(sporocarp approach) have significant effects on the EM species richness, with species richness increasing with both of them. Our investigation also reflects that in 73% of the reviewed studies larger species richness was found by fruiting body surveys than methods based on the sampling of the root tips.

Currently, mycorrhizal sampling data are mostly obtained by a few research groups from several coniferous forests in the northern hemisphere. However, it is critically important to have input from the whole planet to develop solutions toward ecosystem sustainability. Based on the above findings, we argue of the continuation of fruiting body surveys in order to gain rapid and still valuable information on ecosystems over a wide spatial and temporal range. Furthermore, the combined use of the two methods has the potential to gain more complete view of the EM fungal community of the studied area.

In the first field experiments we examined such changes in mycorrhizal relationship, growth and survival parameters of naturally growing pedunculate oak seedlings (*Quercus robur* L.) that occurred after the conditions of seedlings had been manipulated by defoliation and acorn deprivation. It has been found that different treatment resulted in differences in the plant's behavior, while short- and long-term effects also deviated from each other. Initially, leaf removal significantly reduced the level of mycorrhiza on the fine roots, but it did not significantly affect the survival and growth of seedlings. In the autumn, significant interaction was found between the effects of defoliation and acorn deprivation. Significantly higher mycorrhizal levels were found on the fine roots of seedlings treated only by defoliation, while growth slightly declined, but yet their survival remained constant when compared to the control group. In contrast, we have found that initially the effects of acorn removal significantly reduced the growth of seedlings, while it had no effect on the mycorrhizal level. The long-term effect on the mycorrhizal level was similar to the effect of defoliation, i.e. it increased the mycorrhizal level of roots, whereas the survival rate considerably declined. In view of the foregoing, we can conclude that

due to the environmental effects the level of the mycorrhization of fine roots can dynamically change, therefore the time interval chosen for the analysis of the effects of the treatments may as well critically influence the results.

In the second field experiment, we specifically investigated what role leaf litter quality and quantity had on growth, survival and the ectomycorrhizal development of naturally growing pedunculate oak seedlings. We applied the following treatments: (i) complete litter withdrawal, (ii) litter quantity doubled, (iii) original litter layer replaced by the litter of locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) (iv) litter layer disturbed (as control for disturbance) and (v) control: no alteration of the litter layer. We have shown that leaf litter quality and quantity have significant effects on the ECM community: the mycorrhizal level in root tips of the seedlings was significantly lower in plots covered with locust tree litter, but increased in the plots of litter removal, when compared to the control site. Regardless of treatments, we detected a significantly positive correlation between the growth of seedlings and the mycorrhizal levels in the root systems. It was also shown indicated that the roots of seedling grew significantly shorter in plots of litter removal and locust tree litter than in the control ones. The mycorrhizal level in the disturbed and doubled leaf litter plots does did not changed in comparison with the control sites. The soil nutrient and polyphenol composition may be affected by the change of leaf litter quantity and quality, while other materials released by the litter may also alter the mycorrhizal fungal activity. Our experiment revealed, that only the litter of the non-native, invasive locust tree is sufficient to alter the sophisticated ecological relationships developed between the native tree species and mycorrhizal fungi. As a result, the litter of invasive species may hinder the growth and development of native species. This effect may explain the successful expansion of this invasive species in ecosystems made up of native plant species.

Summarizing our studies, we can claim that the sporocarp survey offers a reliable estimate of the biomass and species richness of the fungal community, as well as data relevant for ecological studies. On the other hand, the field studies suggested that the mycorrhiza mediated

the effects of the changes in the external environment on plant partners, and moreover outbalanced the internal conditions of the plant. Therefore, both the soil and the plant community composition can be affected by EM community, which makes it a key factor in shaping the ecosystem.

NEW RESULTS OF THE THESES

5.1 A NEW METHOD TO ASSES MACROFUNGAL SPOROCARP BIOMASS

Tóth, B.B; A, Feest. (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany* Vol.85: 652–658 . Impact Factor: 0.98 (in year of publication)

We propose a simple, non-destructive, but still informative method to assess fungal sporocarp biomass. We have shown that the proposed index ($CAI_i = n_i \pi d_i^2 / 4$) very strongly correlates with the measured total dry weight of the species obtained from the same plot. We have pointed out that the proportion of variation in biomass explained by the number of fruiting bodies (R^2) was considerably smaller than the variation explained by the Cap Area Index, therefore 'Cap Area Index' offers a more accurate estimation of the epigeous fungal sporocarp biomass than the number of sporocarps alone.

5.2 ECOLOGICAL STUDIES OF ECTOMYCORRHIZAL FUNGI: AN ANALYSIS OF SURVEY METHODS.

Tóth, B.B., Barta, Z. Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. *Fungal Diversity* (2010) 45:3-19. DOI: 10.1007/s13 225-010-0052-2 Impact Factor: 5.08 (in year of publication)

Despite discrepancies in identifying species, we found that both survey methods based on sporocarps and root mycorrhiza revealed similar responses by the ectomycorrhizal fungal

communities to experimental manipulations, successional changes and environmental disturbances. By analyzing the results of the reviewed studies (37), we have found a positive relationship existing between fungal species richness and (i) the host plant age and (ii) the number of putative host plant species, independently from the applied survey method. Of the methodological variables, only the number of soil samples (mycorrhizal approach) and the duration of the study (sporocarp approach) exercised significant effects on the EM species richness, with species richness increasing with both of them. Our investigation also reflects that in 73% of the reviewed studies larger species richness was found by the fruiting body surveys than methods based on the sampling of the root tips.

5.3 EFFECT OF DEFOLIATION AND ACORN DEPRIVATION ON OAK SEEDLINGS (*Quercus robur* L.) DEVELOPMENT AND MYCORRHIZAL INTERACTION - A FIELD STUDY.

We have shown that different treatments on the conditions of seedlings resulted in deviations in the plant's behavior. Furthermore, the short- and long-term effects also differed. The defoliation had no effect on either seedlings the growth or survival of either seedlings in the short or long run. Acorn removal, in the short term, reduced seedling growth, but in the long run there were no detectable effects on seedlings growth, while survival was significantly decreased after 5 months. Examining the level of mycorrhization, we found that initially, due to leaf removal, thin root mycorrhization decreased, but in autumn, defoliated seedlings had significantly higher levels of mycorrhiza on their roots. We also revealed that, the acorn removal had no effects on the mycorrhizal level in the short run, whereas the long-term effect on the mycorrhizal level was similar to the effect of defoliation, the level of fine roots mycorrhiza increased.

5.4 THE EFFECT OF LITTER QUALITY AND QUANTITY ON THE INTERACTION BETWEEN ECTOMYCORRHIZAL FUNGI AND NATIVE OAK TREE SEEDLINGS.

We have pointed out that the mycorrhizal level of the root tips of seedlings was significantly lower in the locust tree litter plots, but increased in litter removal plots, when compared to control plots. Regardless of the treatments, we detected a significantly positive correlation between growth of seedlings and the mycorrhizal level of the root systems of plants. We have also found that roots of seedlings growing in the litter removal and locust tree litter plots were significantly shorter than those in the control plots.

LIST OF PUBLICATION (previewed journals)

Tóth, B.B., Barta, Z.: Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: an analysis of survey methods. *Fungal Diversity*. Impact Factor: 5.08

Tóth, B.B.; Feest, A (2007) A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany* Vol.85: 652–658. IF:0.98

Tóth, B., Feest, A (2003).A new method for surveying macrofungi's communities (Agaricales, Boletales, Gasteromycetales) in connection with conservation. *Clusiana*, Proceeding of Hungarian Mycological Society, Vol.42. No 3. pp.:17-34. [in Hungarian]

Tóth, B (1999). A Fungal Coenological Study in Gyepes- Valley (Heves Borsodi Hills, Hungary). *Clusiana*, Proceeding of Hungarian Mycological Society, Vol.38(1-3). pp.:25-52. [in Hungarian]

Tóth, B (1999) Data on the mushrooms of Gyepes-valley (Heves Borsodi Hills). *Kitaibelia*, Vol.4,No.2,pp.:261-270 [in Hungarian]

CONFERENCES

B. Tóth, B., Barta, Z.(2011): Macrofungal biomass assessment in forested areas: Methodological aspects. 6th. *Hungarian Conservation Biology Conference, Debrecen*, abstract: pp.: Poster.

B. Tóth, B., Barta, Z.(2012): Macrofungal biomass assessment in forested areas: Methodological aspects. 5th. *Hungarian Mycological Conferences, Budapest*. abstract: pp.:Poster.

B. Tóth, B., Barta, Z.(2012): Macrofungal biomass assessment in forested areas: Methodological aspects. 9th. *Hungarian Ecological Congress (MÖK), Keszthely*, abstract: pp.:26. Poster.

B. Tóth B., Kata E., Nagy P. T., Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008):The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native tree seedlings, modulated by the soil environment. 21st New Phytologist Symposium *The ecology of ectomycorrhizal fungi*. Centre for Evolutionary &Functional Ecology (CEFE-CNRS) **Montpellier**, France, 10-12 December, 2008, abstract: pp.:70.

B. Tóth B. , Kata E., Nagy P. T. , Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008): The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native tree seedlings, modulated by the soil environment. 4th. *Hungarian Mycological Conferences, Debrecen*, 29-31

May.2008 Poster.

B. Tóth B. , Kata E., Nagy P. T. , Krakomperger Zs, Tóth J.A (2008): The effect of litter quality and quantity on the interaction between ectomycorrhizal fungi and native tree seedlings, modulated by the soil environment. From Molecules to Global Processes'. 5th *Hungarian Conservation Biology Conference, Nyíregyháza*, 6-9. Nov. 2008. Poster. Abstract: pp.: 71.

Tóth, B, Tóth, JA (2006) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study.

5th *International Conference on Mycorrhiza (ICOM 5), Granada*, Spain. Poster.

Tóth, B (2006) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study. 7th. *Hungarian Ecological Congress, (MÖK), Budapest*, Poster.

Tóth, B (2005) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study. 3th. *Hungarian Mycological Conferences, Mátraháza*, Poster.

Tóth, B, Tóth, JA (2005) Effect of defoliation and acorn deprivation on oak seedlings -a field study.

1st. *Central European Forum for Microbiology (CEFORM), Keszthely*. Oral presentation. Abstract: *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*. Vol:52 Supplement. pp.: 6-7.

Tóth, B., A. Feest (2005) A new method for surveying macrofungi's communities (Agaricales, Boletales, Gasteromycetales) in connection with conservation. 4th *Hungarian Conservation Biology Conference, Eger*. Poster.

Other Publications

Tóth, B (1999) Data on the mushrooms of Gyepes-valley (Heves Borsodi Hills). Diploma Thesis, Kossuth University, Debrecen, Hungary [in Hungarian]

Tóth, B (1994). Data on the fungi of Heves-Borsodi Hills. Research report. Bükk National Park, Eger, Hungary [in Hungarian]

AWARDS:

- **2008:** *New Phytologist travel award* for visiting the 21th. New Phytologist Symposium. Montpellier, France.
- **2001:** *Universitas Foundation*, Travel grant for visiting Dr.Alan Feest, University of Bristol, UK
- **1999:** National Conference of Student Researchers, Plant Ecology and Fitocoenology section second place
- **1996:** *Leidenfrost Foundation*, one-year studentship
- **1996:** *Universitas Foundation*, one-year student research fellowship
- **1995:** Kossuth University. Faculty of Sciences, *Summer student grant*
- **1995:** *Leidenfrost Foundation*, Student grant

MEMBERSHIP

- Hungarian Mycological Society (1992-)
- First Hungarian Truffle Association (1996-)

IRODALOMJEGYZÉK

Bánhegyi J, Tóth S, Ubrizsy G, Vörös J (1985) Magyarország mikroszkopikus gombáinak határozókulcsa I.-III. Akadémiai Kiadó 1985

Bidartondo MI (2005) *The evolutionary ecology of myco-heterotrophy*. *New Phytologist*. 167:335-352.

Brundrett MC (2004): Diversity and classification of mycorrhizal association. *Biological Reviews* 79: 473-495.

Carlile MJ, Watkinson SC, Gooday GW (2001): *The Fungi*. Fungi and Plant p:363-426. 2nd Edition Academic Press, London.

Donnelly PK, Entry JA, Crawford DL. (1993) Degradation of atrazine and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by mycorrhizal fungi at 3 nitrogen concentrations in vitro. *Applied and Environmental Microbiology* 59, 2642–2647.

Hoeksema JD, Chaudhary BV, Catherine AG, Johnson NC, Karst J, Koide RT, Pringle A, Zabinski Bever JDC, Moore JC, Wilson GWT, Klironomos JN, Umbanhowar J (2010): A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Ecology Letters* 13: 394-407.

Horton TR, Bruns TD (1998) Multiple-host fungi are the most frequent and abundant ectomycorrhizal types in a mixed stand of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and bishop pine (*Pinus muricata*). *New Phytologist* 139(2): 331-339.

Hynson NA, Preiss K, Gebauer G, Bruns TD (2009): Isotopic evidence of full and partial myco-heterotrophy in the plant tribe *Pyroleae* (*Ericaceae*). *New Phytologist* 182(3): 719-726.

Johnson NC, Gehring CA (2007) Mycorrhizas: Symbiotic mediators of rhizosphere and ecosystem processes, pp.:73-118. In: *The Rhizosphere -- An Ecological Perspective*. Z. Cardon and J. Whitbeck, eds. Elsevier Academic Press, New York, 2007.

Koide RT, Sharda JN, Herr JR, Malcolm GM (2008) Ectomycorrhizal fungi and the biotrophy–saprotrophy continuum. *New Phytologist* 178(2): 230-233.

Last FT, Pelham J, Mason PA, Ingleby K (1979) Influence of leaves on sporophore production by fungi forming sheathing mycorrhizas with *Betula spp.* *Nature* 280: 168-169.

Murat C, Vizzini A, Bonfante P, Mello A (2005) Morphological and molecular typing of the below-ground community in a natural *Tuber magnatum* truffle-ground. *FEMS Microbiology Letters* 245: 307-313.

Smith SE, Read DJR (1997) *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.