

## Doktori értekezés tézisei

# FÉLSZÁRAZ ALFÖLDI HOMOKTERÜLETEK SÖTÉT SZEPTÁLT ENDOFITON (DSE) GOMBÁINAK VIZSGÁLATA

**Knapp G. Dániel**

**Biológia Doktori Iskola**

**Iskolavezető: Prof. Erdei Anna, az MTA rendes tagja**

**Kísérletes Növénybiológia Doktori Program**

**Programvezető: Prof. Szigeti Zoltán**

**Témavezető: Dr. habil. Kovács M. Gábor, egy. docens, ELTE TTK,  
Biológiai Intézet, Növény szervezettani Tanszék**

**Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Intézet  
Növény szervezettani Tanszék**



**Budapest  
2015**

## BEVEZETÉS

A szárazföldi edényes növények különböző nem patogén gombákkal élhetnek együtt, az esetek többségében gyökerüket sokféle gomba kolonizálhatja, köztük endofitonok is. Az endofiton gombák életciklusuk teljes, vagy egy meghatározó szakaszán tünetmentesen élnek a gazdanövényben, és ezek egy formacsoportját alkotják a sötét szeptált endofitonok (DSE, „dark septate endophytes”), melyek elnevezésüket a gyökérben inter- és intracellulárisan futó, legtöbb esetben pigmentált, szeptált hifáikról kapták.

A DSE gombák jelen vannak az összes nagyobb ökoszisztémában és éghajlati övben, több mint 150 növény család több mint 600 fajának gyökerében megfigyelték ezeket az endofitonokat. Elmondhatjuk, hogy a DSE gombák elterjedt, széles gazdaspektrummal rendelkező gyökérkolonizálók, bár előfordulásukat és diverzitásukat viszonylag kevés tanulmányban vizsgálták. A DSE gombák az abiotikus stressznek kitett élőhelyeken, például száraz és félszáraz területeken különösen gyakoriak lehetnek, azonban ezekben az életközösségekben betöltött szerepük megértéséhez még kevés ismerettel rendelkezünk.

A DSE gombának tekintett fajokat csak néhány sajátosságuk alapján sorolhatjuk ebbe a formacsoportba, rendszertani elhelyezkedésüket tekintve nem képviselnek önálló leszármazási vonalat. A DSE gombák Pezizomycotina altörzsbe tartozó aszkuszos gombák, melyek ezen belül többek között például a Helotiales, Pleosporales, Xylariales, Sordariales rendekbe tartoznak. Ezek a gyökérendofitonok ivartalan alakban fordulnak elő, ivaros termőtestek és ivaros spórák képzéséről nincsenek ismereteink. Ivartalan spóráképzést is csak néhány faj esetében figyeltek meg, ez a legtöbb esetben csak specifikus kezeléseket követően volt indukálható.

Számos vizsgálat irányult a DSE gombák és gazdanövényük kapcsolatának megismerésére, azonban az eredmények alapján továbbra sem lehet általános következtetéseket levonnunk, a gomba növényre gyakorolt hatása nagyban függhet a környezeti tényezőktől és a kísérleti beállításoktól. Számos DSE- és növény faj esetében is kimutattak pozitív, semleges és negatív hatást több vizsgált tulajdonság esetében is.

Annak ellenére, hogy már több mint egy évszázada leírtak gyökerekben futó sötét pigmentált hifákat, ismereteink rendkívül hiányosak a DSE gombák gyökérkolonizációjáról. Kevés tanulmány helyezte középpontba például a gyökérendofitonok strukturális és ultrastrukturális vizsgálatát, és ezek is néhány kivételtől eltekintve fénymikroszkópos vizsgálatok voltak, ráadásul legtöbb esetben egy erdei életközösségekben gyakori és fás

szárúakra jellemző DSE fajt (*Phialocephala fortinii sensu lato*) vizsgáltak. A különböző DSE fajok gyökerekben való jelenlétét tenyésztéses és molekuláris módszerekkel bizonyíthatjuk, azonban alig van információnk a gyökerekben való elhelyezkedésükről és kolonizációs tulajdonságaikról.

Elmondható, hogy annak ellenére, hogy széles körben elterjedtek és egyes területeken különösen gyakoriak, ismereteink meglehetősen hiányosak a DSE gombák számos sajátosságáról, köztük biológiájáról, ökológiai szerepéről, taxonómiai besorolásáról, közösségeinek összetételéről vagy a gyökér kolonizációjáról és a növényre gyakorolt hatásáról.

## **CÉLKITŰZÉSEK**

- Célunk volt a generalista domináns DSE csoportok azonosítása az őshonos és inváziós növények gyökeréről gyűjtött izolátumok alapján, valamint alföldi félszáraz homokterületek DSE közösségének kompozicionális diverzitás vizsgálata. Célunk volt a DSE gombák szezonális és terület specificitás vizsgálata, *in vitro* inokulációs rendszerekben tesztelni, hogy egy izolátum valóban DSE gomba.

- Célunk volt még a kiválasztott, domináns DSE csoportokba tartozó izolátumok további gyűjtését követően, azok genetikai variabilitásának tesztelése az általánosan használt ITS (internal transcribed spacer) régió „felbontásán” túlmutató és a teljes genomról információt nyújtó ISSR (inter sample sequence repeat) vizsgálatokkal. Kérdésünk volt, hogy elkülöníthetővé válnak-e a konspecifikus DSE izolátumok ezzel a módszerrel.

- Célunk volt egy domináns DSE gomba gyökéren belüli specifikus jelölésére alkalmas fluoreszcens mikroszkópiai módszer adaptálása, beállítása és alkalmazása, mellyel terepi mintákban és különböző gombákkal egyszerre kolonizált gyökerekben is detektálhatjuk a DSE gombákat.

- Célul tűztük ki egy domináns DSE gomba funkcionális anatómiájának jellemzését ultrastruktúra vizsgálatokkal (TEM), mely új ismereteket nyújtana nem is csak a vizsgált gomba, hanem a DSE-k kolonizációjáról és stratégiájáról.

- Célunk volt a munkánk során előkerülő, azonosítatlan DSE gombák taxonómiai vizsgálata és az esetleges új DSE taxonok leírása.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### *Mintavétel, endofitonok izolálása, azonosítása és in vitro tesztelése*

Mintavételi területeink a bugaci, a fülöpházi és a tatárszentgyörgyi félszáraz kiskunsági homokterületek voltak. A kompozicionális diverzitás, terület specificitás és szezonális vizsgálatához a három területről vettünk fel gyökérmintákat. A további vizsgálatokhoz szükséges, célzottan gyűjtött izolátumok egyedül a fülöpházi homokpusztagyepről származtak. A félszáraz területek DSE közösségének vizsgálata során nyolc őshonos és három tájidegen növényfajról gyűjtöttünk mintákat, melyek gyakoriak a területen, és több életforma típust és rendszertani csoportot reprezentálnak. A szezonális és terület specificitás vizsgálatához mintáinkat mindhárom területen 10-10-10 megjelölt közönséges boróka egyedről gyűjtöttük két éven keresztül tavasszal, nyáron és ősszel.

Az endofitonok izolálásához gyökérszakaszokat vágunk le a gyökérszetről, majd ezeket felszín-sterilizálását követően MMN táptalajra helyeztük. A gyökerekből kinövő gombákat szétoltottuk, majd ezekből CTAB módszerrel teljes DNS-t vontunk ki. A DSE közösség csoportjainak azonosításához az nrDNS ITS és LSU (28S RNS, large subunit) régióját azonosítottuk, majd a kapott csoportok néhány reprezentáns izolátumával *in vitro* kísérletekben póréghagymát inokuláltunk. Így tudtuk tesztelni, hogy egy csoport izolátumai valóban DSE gombák-e. A növényre látható negatív hatással nem lévő, gyökeret kolonizáló és mikroszkleróciumot képző, és az ezekkel egy csoportban lévő izolátumokat tekintettük DSE gombáknak.

### *Molekuláris vizsgálatok*

A taxonómiai munkákhoz kiválasztott három csoport (DSE-4, DSE-8A, DSE-7) 40 izolátumának vizsgálatához UltraClean™ Microbial DNA Isolation Kit segítségével vontunk ki DNS-t és az ITS mellett a nrDNS LSU és SSU (18S RNS, small subunit) régióját, az aktin (ACT) és a  $\beta$ -tubulin (TUB) gének egy-egy szakaszát amplifikáltuk és szekvenáltuk. A DSE-7 csoportnál még az elongációs faktor 1- $\alpha$  (EF), a kalmodulin (CAL) géneket is és az ITS alignment indel régióiból kikódolt gap-eket vontuk be az elemzésbe.

A filogenetikai elemzések során a szekvenciák illesztését a MAFFT 6 online programmal végeztük, majd az alignmenteket MEGA5 programmal ellenőriztük. A megfelelő nukleotid szubsztitúciós modelleket a jModelTest 0.1.1 program AIC (Akaike information criterion) beállítását alkalmazva választottuk ki. A filogenetikai elemzéseket MrBayes 3.1.2

programmal végeztük, majd a topológiai konvergenciákat az AWTY online software-rel ellenőriztük. A RAxML analízist a raxmlGUI 1.3 segítségével végeztük az ágak támogatásának teszteléséhez 1000 ismétléses ML bootstrap vizsgálatot alkalmazva. A törzsfákat a FigTree 1.4.0 és a MEGA5 programcsomagokkal készítettük.

Az ISSR-PCR során az (AAC)<sub>6</sub>, (AAG)<sub>6</sub>, (AGG)<sub>6</sub>, (ATC)<sub>6</sub>, (CCG)<sub>6</sub>, (AC)<sub>8</sub> és (AG)<sub>9</sub> primereket használtuk, majd az ISSR profilok sávjait prezencia-abszencia alapon bináris adatként rögzítettük, melyek alapján végeztük az elemzést.

#### *Fluoreszcens in situ hibridizáció (FISH)*

Az endofiton gombák gyökéren belüli specifikus fluoreszcens jelöléséhez oligonukleotid próbákat terveztünk a DSE-1 csoport izolátumainak, és a próbák specificitásának teszteléséhez és a külön jelöléshez szükséges ettől eltérő gomba (*Rhizophagus intraradices*) LSU régiója alapján. A próbák 5' vége különböző hullámhosszon fluoreszkáló fluorofórokkel lett jelölve. A gombákkal *in vitro* kísérletekben inokulált kukoricáról gyökészakaszokat vágunk le és fixáltuk majd 90–120 µm vastagságú metszeteket készítettünk. Ezeket 46°C-on inkubáltuk 50%-os formamid koncentrációjú hibridizációs pufferben, ezután kimostuk az aspecifikusan bekötő jelölt oligonukleotidokat hibridizációs oldattal, mely nem tartalmazott próbákat. A lefedett gyökérmintákat epifluoreszcens és konfokális lézer scanning mikroszkóppal vizsgáltuk.

#### *Fény és transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok*

A fénymikroszkópos vizsgálatokhoz a gyökereket 10%-os KOH oldatban színtelenítettük, majd Anilin-kékkel festettük. A TEM vizsgálatokhoz egy *Cadophora* sp. (DSE-1 csoport) izolátum által hat hete kolonizált póréhgyma gyökereket az azokat körülvevő táptalajjal együtt 2.5%-os glutáraldehidben fixáltuk, majd ozmium-tetroxidos utófixálás után Durcupan ACM műgyantába ágyaztuk. A félvékony hosszmetseteket neofuxin-kristályibolyával festettük, majd fénymikroszkóppal vizsgáltuk. Az ultravékony metseteket uranil-acetátos és ólom-citrátos kezelés után transzmissziós elektronmikroszkóppal vizsgáltuk.

#### *Spóráképzés indukálása*

A klasszikus taxonómiai vizsgálatokhoz megpróbáltunk spóráképzést indukálni, és a spóráképzés indukálásához az izolátumokat különböző körülmények között inkubáltuk és

eltérő kezeléseket alkalmaztunk. Az izolátumokat hat féle táptalajra oltottuk, eltérő hőmérsékleten inkubáltuk, különböző sterilizált növényi szövetekre-szövetekre (árpa levél, perje gyökér, feketefenyő tűlevél, csalán szár, szil ág) oltottuk, izzított bonctűvel égettük és UV megvilágításnak tettük ki.

## **EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK**

### *A DSE közösség*

Az alföldi félszáraz homokterületeinek DSE közösségének megismeréséhez közel 200 gyökérmintát vettünk fel a három félszáraz homokterület őshonos és inváziós növényeiről, és 241 izolátum ITS régiója alapján 41 csoportot különítettünk el. Az *in vitro* kísérletek eredményeként a 41-ből 14 csoport (DSE-1 – DSE-14), a 241-ből összesen 142 izolátum bizonyult DSE gombának. Ezek a Pleosporales (7 csoport), Helotiales (2 csoport), Hypocreales (2 csoport), Eurotiales (1 csoport), Xylariales (1 csoport) és a Glomerellales rendbe (1 csoport) tartoztak az ITS és LSU régióik alapján.

A terület specificitás és szezonális vizsgálatokhoz gyűjtött izolátumok egy kivételével a DSE-1, DSE-2 és DSE-3 csoportokba tartoztak. A három közül egyik DSE csoport sem tartalmazott csak egy területről származó vagy csak egy évszakban gyűjtött izolátumokat, nem tapasztaltunk sem szezonális, sem terület specificitást. A nagy izolátumszámú DSE csoportok több területről őshonos és inváziós növényekről is előkerültek, így elmondható, hogy azonosítottuk a területek domináns, generalista DSE csoportjait (pl. DSE-1, DSE-3, DSE-7).

A DSE csoportok izolátumainak ITS és LSU régiójával megegyező/hasonló, adatbázisokban elhelyezett szekvenciák számos esetben félszáraz területekről is előkerültek. Az általunk vizsgált DSE közösség főbb csoportjai megegyeztek észak-amerikai félszáraz területek gyökérekolonizáló gomba közösségeivel, ez alapján elmondhatjuk, hogy (fél)száraz füves területek növényeiben a DSE közösség domináns tagjai általánosan megegyeznek.

### *Inter sample sequence repeat vizsgálatok*

Az ISSR vizsgálatokhoz kiválasztott három csoportból (DSE-1, DSE-3 és DSE-7) kettő esetében (DSE-1 és DSE-7) további izolátumok célzott gyűjtéséhez a gyors diagnosztikát lehetővé tevő PCR-ek beállítását követően, további 13 illetve 19 törzset gyűjtöttünk. Az egy csoportba tartozó izolátumok közötti genetikai variabilitás vizsgálata során a DSE csoportok izolátumai nem voltak elkülöníthetők gyűjtési helyük, idejük és gazdanövényeik alapján sem, azonban nagyfokú csoporton belüli variabilitást tudtunk kimutatni.

Elmondható, hogy mindhárom csoport esetében néhány kivételtől eltekintve, az izolátumok egyedi ISSR profillal rendelkeztek, mely lehetővé teszi a törzs szintű azonosítást ezzel a módszerrel.

### *In planta FISH*

A DSE-1 csoport izolátumainak specifikus jelöléséhez és láthatóvá tételéhez a gyökéren belül, egy RNS FISH protokollt állítottunk be és alkalmaztunk sikeresen. Munkánk során a gyökerekben specifikusan tudtuk jelölni a DSE-1 izolátum által képzett struktúrákat, valamint a két próbát szimultán alkalmazva, egyidőben tudtunk specifikusan jelölni két eltérő gyökérkolonizáló gombát.

Elmondhatjuk, hogy először sikerült olyan fluoreszcens *in situ* hibridizáción (FISH) alapuló módszert alkalmaznunk, amely alkalmas lehet a gyökereket kolonizáló, akár több DSE gomba egyidejű specifikus detektálására és lokalizációjára akár terepi mintákban is.

### *Ultrastruktúra vizsgálatok*

A *Cadophora* sp. (DSE-1) kolonizációjának ultrastrukturális vizsgálata során sikerült megfigyeltünk nekrotikus és élő növényi sejtekben is hifákat. A nekrotizált sejtekben megfigyelt struktúrák összhangban voltak az eddigi elektronmikroszkópos tanulmányok során leírtakkal.

Megfigyeltünk élő növényi sejtben futó DSE hifát is, és ebben az esetben a gomba- és a növényi sejt citoplazmáját is saját, ép sejtmembránja határolta. A gomba sejtfa és a növényi sejtmembrán között egy laza mátrix anyag helyezkedett el, növényi sejtfa nem volt megfigyelhető. A gomba és növényi sejtmembránon is sokszor megfigyelhetőek voltak membrán-betűródések/vezikulumok, így feltételezhetjük, hogy ezen a területen jelentős endo- és/vagy exocitotikus folyamatok zajlanak. Elmondható, hogy először azonosítottunk ép

citoplazmával rendelkező növényi sejtben DSE hifát, valamint a biotróf kapcsolatokra jellemző perifungális membránt a gyökérsejtekben DSE kolonizációnál.

### *Taxonómiai vizsgálatok*

A taxonómiai vizsgálatoknál a három kiválasztott DSE csoport a Pleosporales rendbe (Dothideomycetes) illeszkedett. A DSE-4 csoport a *Morosphaeriaceae* család bazális csoportjaként, míg a DSE-8A csoport a *Massarinaceae* családhoz közeli, erősen támogatott *incertae sedis* kládba került a *Massarina igniaria*, *Noosia banksiae* és a *Periconia macrospinosa* (DSE-8B) fajokkal együtt. A DSE-7 csoport egyértelműen a *Lentitheciaceae* családba illeszkedett és egy külön leszármazási vonalat alkotott.

Taxonómiai vizsgálataink eredményeként három új nemzetséget és nyolc új fajt írtunk le. A DSE-7 csoport izolátumai egy új nemzetséget (*Darksidea gen. nov.*) és 6 fajt (*D. alpha*, *D. beta*, *D. gamma*, *D. delta*, *D. epsilon*, *D. zeta spp. nov.*), a DSE-4 (*Aquilomyces patris gen. & spec. nov.*) és DSE-8A (*Flavomyces fulophazii gen. & spec. nov.*) csoportok pedig monospecifikus nemzetségeket reprezentálnak a Pleosporales rend *Massarineae* alrendjében.

### *Spóra képzés*

Izolátumaink spóra képzésének indukálására irányuló munkáink során csak egyszer, de sikerült termőtesteket megfigyelnünk szobahőmérsékleten inkubált, SNA táptalajra helyezett sterilizált csalan szár darabokra oltott *Darksidea* (DSE-7) fajok esetében 3–4 héttel az inokulálást követően. Ezek az izolátumok egy kivételével 180 – 250 µm átmérőjű, gömb alakú ivaros termőtestet hoztak létre, melyekben 4–6 spórát tartalmazó aszkuszok voltak. Egy *D. gamma* izolátum által képzett képletek, bár hasonló színű, alakú és méretű voltak azonban ezek oszcíolummal rendelkező, steril, piknídium-szerű struktúrák voltak.

Elmondhatjuk, hogy először sikerült ivaros alak képzését indukálnunk, valamint az ivaros termőtestekben aszkuszokat és aszkospórákat megfigyelnünk a DSE gombák esetében. A gyakori *Darksidea* fajok, például a *D. alpha* törzseinek bizonyított ivaros spóra képzési képessége és vizsgálatokban való alkalmazása segíthet jobban megérteni a gyökérkolonizáló endofiton gombák életközösségekben való széles elterjedését és általános előfordulását.



## ÖSSZEFOGLALÁS

- A DSE közösség megismeréséhez közel 200 gyökérmintát vettünk fel a három félszáraz homokterület őshonos és inváziós növényeiről, 296 törzset izoláltunk, melyek közül 241 ITS régióját határoztuk meg melyek 41 csoportot alkottak. Ezek közül 14 DSE csoportot azonosítottunk.

- Azonosítottuk a DSE közösség domináns generalista csoportjait, nem tapasztaltunk sem szezonalitást, sem terület specificitást és észak-amerikai félszáraz területek gyökérkolonizáló gomba közösségével való jelentős hasonlóság alapján elmondhatjuk, hogy általánosan, a (fél)száraz füves területek növényeiben a DSE közösség domináns tagjai megegyeznek.

- Az ISSR módszerrel a DSE csoportok izolátumai nem voltak elkülöníthetők gyűjtési helyük, idejük és gazdanövényeik alapján sem, azonban nagyfokú csoporton belüli variabilitást tapasztaltunk, mely lehetővé teszi a konspecifikus törzsek azonosítását.

- Sikertült egy RNS FISH módszert úgy adaptálnunk, hogy lehetővé vált DSE gombák specifikus jelölése a gyökéren belül, így két különböző gomba által kolonizált gyökérben is elkülöníthetővé váltak a gomba fajok.

- Elsőként figyeltünk meg élő növényi sejtben DSE hifát, és az ehhez kapcsolódó ultrastrukturális változásokat. A gomba- és a növényi sejt között egy laza mátrix anyagot figyeltünk meg és először azonosítottuk a biotróf kapcsolatokra jellemző perifungális membránt.

- Három új nemzetséget és nyolc új DSE fajt írtunk le (*Aquilomyces patris*, *Flavomyces fulophazii*, *Darksidea alpha*, *D. beta*, *D. gamma*, *D. delta*, *D. epsilon* and *D. zeta*), melyek a Pleosporales rend *Massarineae* alrendjébe illeszkednek.

- Először sikerült a DSE gombáknál ivaros alakot indukálnunk, az ivaros termőtestekben aszkuszokat és aszkospórákat megfigyelnünk.

## PUBLIKÁCIÓS LISTA

### A PhD-dolgozat témájához kapcsolódó publikációk:

#### *Impakt faktorral rendelkező tudományos folyóiratban megjelent cikkek:*

Knapp DG, Kovács GM, Zajta E, Groenewald JZ, Crous PW. 2015. Dark septate endophytic pleosporalean genera from semiarid areas. *Persoonia* 35: 87-100. **IF: 4,225**

Vági P, Knapp DG, Kósa A, Seress D, Horváth A, Kovács GM. 2014. Simultaneous specific in planta visualization of root-colonizing fungi using fluorescence in situ hybridization (FISH). *Mycorrhiza* 24: 259–66. **IF: 2,985**

Knapp DG, Pintye A, Kovács GM. 2012. The dark side is not fastidious – dark septate endophytic fungi of native and invasive plants of semiarid sandy areas. *PLOS ONE* 7: e32570. **IF: 3,730**

#### *Impakt faktorral nem rendelkező tudományos folyóiratban megjelent cikkek:*

Knapp DG, Kovács GM. 2010. A *Medicago minima* gyökérendofiton gombáinak vizsgálata a fülöpházi félszáraz homokterületen. *Mikológiai Közlemények – Clusiana* 49: 67–77.

#### *Konferencia – összefoglalók:*

Knapp DG, Kovács GM, Zajta E, Groenewald JZ, Crous PW. 2014. Alföldi félszáraz területek új sötét szeptált endofiton (DSE) taxonjai. A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2014. évi Nagygyűlése, Keszthely. [előadás, **legjobb előadó díj**]

Kovács GM, Balázs TK, Blaszkowski J, Buscot B, Gáspár BK, Geml J, Knapp DG, Lukács AF, Németh JB, Seress D, Wubet T. 2013. Looking for the generalists in a specific environment: mycorrhizal and root-endophytic fungi of semiarid sandy areas. Power of Microbes. Primosten, Horvátország. [előadás]

Knapp DG, Zajta E, Pintye A, Kovács GM. 2013. The dominant DSE lineages of semiarid sandy areas of the Great Hungarian Plain - What can they point out? Endophytes for plant protection: the state of the art, Berlin, Németország. [előadás]

Horváth ÁN, Seress D, Knapp DG, Vági P, Kovács GM. 2013. Fluoreszcens *in situ* hibridizációs módszer optimalizálása növény-gomba kölcsönhatások vizsgálatára. A Magyar Mikroszkópos Társaság Éves Konferenciája. Siófok. [előadás]

Knapp DG, Kovács GM. 2012. Félszáraz homokgyepek sötét szeptált endofiton gombáinak ISSR (inter sample sequence repeat) vizsgálata. A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2012. évi Nagygyűlése, Keszthely. [előadás, **legjobb előadó díj**]

Knapp DG, Pintye A, Kovács GM. 2012. Őshonos és inváziós növények gyökérendofiton gombáinak vizsgálata alföldi félszáraz területeken. V. Magyar Mikológiai Konferencia, Budapest. [előadás]

Knapp DG, Pintye A, Kovács GM. 2011. Study of dark septate endophytic fungi colonizing invasive and indigenous plants on semiarid sandy areas. XVI. Congress of European Mycologists (CEM), Halkidiki, Görögország. [előadás]

Knapp D, Kovács GM. 2009. Study of root colonizing dark septate endophytic fungi of invasive and indigenous plants of semiarid sandy areas. Second Central European Forum for Microbiology (CEFOM), Keszthely. [poszter, **legjobb poszter díj**]

Knapp D, Seress D, Kovács GM. 2009. Inváziós növények nempatógén gyökérkolonizáló gombáinak vizsgálata félszáraz homokterületeken. VIII. Magyar Ökológiai Kongresszus, Szeged. [poszter]

### **A PhD-dolgozat témájához nem kapcsolódó publikációk:**

#### ***Impakt faktorral rendelkező tudományos folyóiratban megjelent cikkek:***

Schoch CL, Seifert KA, Huhndorf S, Robert V, Spouge JL, Levesque CA, Chen W, and Fungal Barcoding Consortium (... , Knapp DG, ..., Kovács GM, ...). 2012. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 109: 6241–6245. **IF: 8,910**

#### ***Konferencia – összefoglalók:***

Németh JB, Knapp DG, Tamás L, Ohm RA, Lipzen A, Nolan M., Barry KW, Grigoriev IV, Spatafora JW, Kovács GM. 2014. Szimbiózis ortológ gének vizsgálata gyökér kolonizáló sötét szeptált endofiton gombákban. A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2014. évi Nagygyűlése, Keszthely. [előadás]

Simon J, Knapp DG, Vági P, Lukács AF, Németh JB, Borsodi AK, Kovács GM. 2014. Szimbióta baktériumok kimutatása és azonosítása félszáraz területen élő gyökér endofita gombák esetében. A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2014. évi Nagygyűlése, Keszthely. [előadás]

Németh MZ, Bóka K, Kovács GM, Knapp DG, Seress D, Preininger É. 2014. Egy endofiton gomba interakciója *in vitro* növényi rendszerekkel. A Magyar Mikroszkópos Társaság Éves Konferenciája. Konferencia. Siófok. [előadás]