

## Ugróvillások (*Collembola*) szerepe a *Glomus mosseae* (Zygomycetes) arbuskuláris mikorrhiza gomba terjesztésében \*

SERES ANIKÓ<sup>1</sup>, BAKONYI GÁBOR<sup>1</sup> és POSTA KATALIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Állattani és Ökológiai Tanszék, H-2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1., E-mail: aseres@fau.gau.hu / bakonyi@fau.gau.hu

<sup>2</sup> Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Mikrobiológiai Tanszék, H-2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

**Összefoglalás.** A dolgozatban megvizsgáltuk, hogy a *Folsomia candida* illetve a *Sinella coeca* ugróvillás fajok fogyasztják-e a *Glomus mosseae* és *Glomus intraradices* arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombafajok spóráit laboratóriumi körülmények között, illetve a két ugróvillás faj képes-e a mikorrhiza terjesztésére a talajban és ezen keresztül befolyásolja-e üvegházi körülmények között végzett tenyészedényes kísérletben a kukorica növények nagyságát, biomasszáját és víztartalmát? Megállapítottuk, hogy a *F. candida* laboratóriumi körülmények között nem fogyasztotta, ellenben a *S. coeca* fogyasztotta a *G. mosseae* és *G. intraradices* spórákat. Mind a két faj képes a mikorrhiza gomba terjesztésére a talajban, de a terjesztés mértékében különbség mutatkozott. A *G. mosseae* spóráját és hifáját, valamint mikorrhizált kukorica gyökerének darabjait tartalmazó talajból a *F. candida* hatékonyabban vitte át a mikorrhizáltságot nem mikorrhizált kukorica egyedekre, mint a *S. coeca*. Az a faj bizonyult hatékonyabbnak az AM gomba terjesztésében, amelyik nem fogyasztotta annak spóráit a megelőző kísérletben. A fajok közötti különbségeket az állatok eltérő külső morfológiája, táplálkozásmódja és az aktivitásuk közötti különbségek magyarázhatják. Az ugróvillásokat tartalmazó kezelésekben növekedett a kolonizáció mértéke, a növények gyökerének tömege, a teljes biomasszájuk és a víztartalmuk. Mindez azzal magyarázható, hogy az ugróvillások hozzájárultak az AM gomba diszperziójához, elősegítették a kolonizációt és így a növények tápanyag és vízfelvételét.

**Kulcsszavak:** Collembola, arbuskuláris mikorrhiza, táplálékválasztás, kukorica biomassza.

### Bevezetés

A mikorrhiza a növények gyökerei és egy vagy több talajon élő gombafaj között kialakuló kölcsönösen előnyös kapcsolat (mutualizmus). Mintegy 5–6000 azon gombafajok száma, amelyek ilyen kapcsolatba lépnek a magasabbrendű növényekkel (MOLINA et al. 1992). A szárazföldi növények 70–80 %-ára jellemző a mikorrhizáltság valamilyen formája (MALLOCH et al. 1980), jobbára az arbuskuláris mikorrhiza (AM). A szimbiózis kialakulásakor a kapcsolatot létesítő gomba externális hifái megtapadnak a gyökér felületén és a behatolási pontnál egy úgynevezett apresszóriumot hoznak létre. A gombafonalak ezután a gyökér sejtjei közé hatolva internális hifaként folytatják útjukat. A gyökér kortikális sejtjeibe lépve az internális hifák vezikulumokat és arbuskulumokat hoznak létre. Az arbuskulumok a

\* Előadták a szerzők az Állattani Szakosztály 911. ülésén (2001. április 4.).

gomba és a gazdanövény közötti anyagáramlásnak biztosítanak felületet, míg a vezikulumok elsősorban a lipidek tárolásáért felelősek.

Az AM-gombák gyökéren kívüli externális hifái a gyökér körüli talajt hálózzák be, feltárva a gyökér számára hozzáférhetetlen talajrészeket is (BRUNDRETT et al. 1994). A gomba hifafonalainak segítségével a növények tápanyag- és vízellátottsága javul, míg a heterotróf gombapartner szerves tápanyagokhoz jut a növényből. Az AM-gomba hálózat nem csupán tápanyagokat és vizet juttat a gazdanövényhez, de jelenlétében növekszik a talaj stabilitása és csökken a talajerózió is (BETHLENFALVAY 1992). Ismeretes, hogy egy adott növényfaj mikorrhizált és nem mikorrhizált egyedei között számos vonatkozásban találunk különbségeket. A mikorrhizált egyedek szárazságtűrőbbek, mint nem mikorrhizált fajtársaik. Ez a tulajdonságuk elsősorban száraz talajban vagy változó talajnedvesség mellett jut kifejezésre (BETHLENFALVAY et al. 1988).

Az endomikorrhiza hatását a növények tápanyagfelvételére sokan vizsgálták. POSTA (1997) foszforhiányos talajban háromszoros, gazdag foszfortartalmú talajban kétszeres különbséget talált a mikorrhizált és nem mikorrhizált növényegyedek foszforfelvétele között, a mikorrhizált növények javára. A mikorrhiza-oltás a növények ellenálló képességét is növeli, ami egyes szerzők szerint a fokozott tápelemfelvétel eredménye (SMITH & KAPLAN 1988). Mindezek következményeként a mikorrhizált növények magasabb hajtás-száraztömeget érnek el. Szójababbal (*Glycine max*) végzett kísérlet során, 60 nap után a mikorrhizált egyedek hajtásainak száraztömege majdnem kétszer annyi volt, mint a nem mikorrhizált egyedeké (KAISER & LUSSENHOP 1991). Hasonló eredményre jutottak póréhagymával (*Allium porrum*) végzett kísérletekben is, ahol *Glomus fasciculatus* AM-gomba volt a növény szimbionta partnere (WARNOCK et al. 1982).

A talajban a gombák eloszlására és abundanciájára két, egymással ellentétes folyamat hat. Egyrészt a mikroarthropodák szelektíven fogyasztják a különböző gombafajokat, másrészt terjesztik a gomba szaporító képleteit (LUSSENHOP 1992). Az ugróvillások a legkülönbözőbb táplálékforrásokat is képesek hasznosítani, így elfogyasztják a talajban található szerves anyagokat, növényi maradványokat, a gombahifákat és gombaspórákat, baktérium sejteket, algákat, fonálférgeket stb. (ANDERSON & HEALEY 1972, BAKONYI et al. 1994, BAKONYI 1998). Sok ugróvillás fajról bizonyították, hogy elfogyasztja az AM-gomba egyes részeit, sőt azt is, hogy képes a különböző gombafajok között különbséget tenni. Közvetlen bizonyítékokat szolgáltatott MOORE és munkacsoportja (1985) egyes ugróvillás fajok AM-gomba spóra és hifa fogyasztását illetően. Laboratóriumi körülmények között vizes agar-agar táptalajon kínáltak spórákat és hifákat különböző ugróvillásoknak. Kísérletükben a *F. candida* fogyasztotta a *Glomus fasciculatum* és a *Gigaspora rosea* nevű gombafajok hifáit, de elkerülte a *Glomus mosseae* hifáit. Ugyanez a faj fogyasztotta a *Gigaspora margarita* spóráit, de nem ette meg a *Glomus mosseae* és a *Glomus fasciculatum* spóráit. Szójababbal (*Glycine max*) végzett kísérletekben az ugróvillásokat két különböző időpontban adták a tenyészedényekhez, ültetéskor és az ültetés után 15 nappal. Amikor az állatokat később adták a rendszerhez, szignifikánsan magasabb mikorrhizáltsági szintet és több fertőzött helyet találtak (KAISER & LUSSENHOP 1991), mint amikor az ültetéssel egy időben helyezték az állatokat a tenyészedényekbe. Ez utóbbi eredmények arra utalnak, hogy az ugróvillások az AM-gomba spóráiból fejlődő csíratömlő elfogyasztásával erősen csökkenthetik a mikorrhizáltságot. BAKONYI (1989) az ugróvillások táplálkozásában kor szerinti különbségeket talált: amíg a fiatal állatok a baktériumokat, a kifejlettek a gombákat részesítették előnyben.

A kutatások másik irányát a talajban élő állatok mikorrhiza-gomba spóra és hifa terjesztő képességének vizsgálata jelenti. Kevés kísérlet akad azonban, amelynek középpontjában az ugróvillások AM-gomba terjesztőképességének vizsgálata áll, mivel az AM gomba spórák túl nagyok (60–200 mikrométer) ahhoz, hogy intakt módon átjussanak az ugróvillások bélcsatornáján. A figyelem ezért a nagyobb állatok, mint például az emlősök (WARNER et al. 1987) és a gerinctelen makrofauna felé irányult (RABATIN & STINNER 1989). Megállapították, hogy a fent említett csoportokba tartozó nagyobb testű fajok terjesztették a spórákat. FINLAY (1985) az *Onychiurus ambulans* ugróvillás különböző denzitása mellett vizsgálta a mikorrhiza-oltás hatékonyságát. Azt az eredményt kapta, hogy az ugróvillások csökkentik a mikorrhizáltságot és annak kedvező hatását a növények növekedésére, de a csökkenés mértéke közepes ugróvillás denzitásnál a legkisebb. Ezt azzal magyarázta, hogy az ugróvillások elfogyasztják az externális hifákat, ha az optimálisnál nagyobb számban vannak jelen, optimális denzitás azonban a mikorrhizáltság terjesztése kompenzálja a fogyasztás hatását. KLIRONOMOS & MOUTOGLIS (1999) kimutatták, hogy a *Folsomia candida* képes a mikorrhizáltságot egyik növényről a másikra átvinni. Három különböző AM-gombafajt használtak és eltérő eredményeket kaptak. Az ugróvillások jelenléte a *Glomus etunicatum* esetében 30 centiméterrel, az *Acaluspora denticulata* esetében 10 centiméterrel növelte meg a két hét alatt a mikorrhiza gomba által áthidalt távolságot. A harmadik fajnál (*Scuellospora calospora*) azonban az ugróvillások negatív hatással voltak a mikorrhizáltság terjedésére. A terjesztés mechanizmusa és az, hogy a terjedésben melyik AM-gomba képlet játszik szerepet, még tisztázatlan.

Munkánk célja az volt, hogy megvizsgáljuk két különböző ugróvillás faj AM gomba spóra fogyasztását és azt, hogy az AM-gomba terjesztés segítségével képesek-e befolyásolni a kukorica növény növekedését laboratóriumi körülmények között. Különös figyelmet fordítottunk a fajok közötti különbségek vizsgálatára.

## Módszerek

### I. kísérlet: Ugróvillások mikorrhiza-gomba spóra fogyasztása

*A kísérletben használt táptalaj és szervezetek*

Az első kísérletben a *Sinella coeca* és a *Folsomia candida* (Insecta, Collembola) ugróvillás faj adult egyedeinek spórafogyasztását vizsgáltuk. A *Glomus mosseae* és *Glomus intraradices* (Zygomycetes, Endogonales) spórákat fertőtlenített spórával oltott és nyolc héten át növényházban nevelt kukorica rizoszféra talajból válogattuk. A táplálékválogatási vizsgálatot 3%-os vizes agar-agar (Bacto) felszínén végeztük. Az agar-agar sterilizálása autoklávban történt (121°C, 20 perc).

*A kísérleti elrendezés*

A táplálékválogatási kísérlet végzése során mindkét ugróvillás faj számára mindegyik AM gomba faj spóráját felkínáltuk táplálékként. Így összesen négy kezelésünk volt. A kiválogatott spórákat egyenletes eloszlásban helyeztük el egy 2x2 cm-es rácsháló metszéspontjaiban, vizes agar felszínén. A petricsészékbe 40 (*Glomus mosseae*), illetve 25 (*Glomus int-*

*raradices*) spórát helyeztünk. A minden kezelést három ismétlésben végeztük. Minden petricsészébe 25 állat került.

A vizes agar felszínén végbement spóraszám változást sztereomikroszkóp segítségével vizsgáltuk. A fogyott spórák számát a részben, illetve teljesen elfogyasztott spórák számának összege adta meg. A fogyasztás megállapítására az állatok behelyezését követő 48 óra múlva került sor.

## **II. kísérlet: Ugróvillások AM gomba terjesztése a talajban**

*A kísérletben használt talaj és szervezetek*

A kísérlet során Ramann-féle barna erdőtalajt használtunk. A talajból kiválogattuk a nagyobb növényi részeket, köveket, egyéb anyagokat, majd átszitáltuk. Szitálás után autoklávban sterilizáltuk a talajt (120°C, 48 óra), majd nedvesítettük. A kísérletet *Folsomia candida* és *Sinella coeca* (Insecta, Collembola) ugróvillások kifejlett példányaival végeztük. Inokulumként fertőtlenített *Glomus mosseae* (Zygomycetes, Endogonales) (34–212) spórával oltott és nyolc héten át növényházban nevelt kukorica rizoszféra-talajt használtunk. Ez a talaj *G. mosseae* spórákat, hifákat és mikorrhizált gyökérdarabokat egyaránt tartalmazott. Gazdanövényként a kukorica (*Zea mays*) szolgált. A kukoricaszemeket többszöri desztillált vizes mosás után telített CaSO<sub>4</sub>-oldattal nedvesített szűrőpapírra helyeztük, egy másik papírral fedtük és így csíráztattuk. Két napig tartó csíráztatás után minden tenyészedénybe két-két csíranövényt ültettünk, amelyekből a kukorica kétleveles állapotában egyet, a jobban fejlett egyedeket hagytuk meg.

*A tenyészedények leírása, kísérleti elrendezés*

Négy kísérleti kezelést állítottunk be (5–5 ismétlésben) a következő módon:

- 1./ KG (negatív kontroll): A tenyészedény csak kukoricát (K) és a kukoricától elzárt tartóban *G. mosseae*-t (G) tartalmazott.
- 2./ KGF: A tenyészedény kukoricát (K), a kukoricától elzárt tartóban *G. mosseae*-t (G) és *F. candida*-t (F) tartalmazott.
- 3./ KGS: A tenyészedény kukoricát (K), a kukoricától elzárt tartóban *G. mosseae*-t (G) és *S. coeca*-t (S) tartalmazott.
- 4./ M (pozitív kontroll): A kukoricát mesterségesen fertőztük *G. mosseae*-vel.

A tenyészedényeket (12x8x5cm) az előzetesen előkészített steril talajjal töltöttük fel a dobozok felső szélétől mért 1 cm-es magassáig. A hosszabbik oldal egyik végében egy műanyagból készült, felül és az egyik oldalán nyitott, de alulról zárt tartót (5x2x3 cm) helyeztünk el. Az első három kezelés esetében (KG, KGF, KGS) ebbe a tartóba helyeztük a *G. mosseae* (G) inokulumokat tartalmazó talajt, egyenként 20 grammot. Ezt könnyen ki lehetett emelni a tenyészedényből, ami megkönnyítette az inokulumokat tartalmazó talaj eltávolítását a kísérlet során. Az M (mesterséges fertőzés) csoportba tartozó edényeket a tartó helyén is steril talajjal töltöttük fel.

Az inokulummal feltöltött tartók és az elültetett kukorica közötti távolság 10 cm volt. A növényeket egy hétig előneveltük, majd a második kezelésben (KGF) ismétlésenként 72 db *F. candida*, a harmadikban 72 db *S. coeca* (KGS) került a tenyészedényekbe. Az állatok öt

napig maradtak a tenyészedény felszínén, ezalatt volt rá lehetőségük, hogy a mikorrhizáltság kialakulásához szükséges képleteket az edény túlsó végébe a növényig eljuttassák. Öt nap után a rizoszféra-talajt tartalmazó tartókat kiemeltük a tenyészedényekből, majd az állatokat naftalinnal előltük. Ezen a napon fertőztük az M (mesterséges fertőzés) csoportba tartozó kukoricákat is 20 g *G. mosseae* spórákat, hifákat és mikorrhizált gyökér darabokat tartalmazó talajjal. A talajt a növény közvetlen környezetében található steril talajba kevertük.

A tenyészedények tömegét kétnaponként mértük és a tömegsökkenésnek megfelelő mennyiségű csapvízzel öntöztük a növényeket. A kukorica elültetése után a növényeket öt héten át, állandó hőmérsékletű (20°C) és páratartalmú (70%) klímakamrában neveltük. A fény mennyiségét időkapcsolóval ellátott napfény spektrumú fénycsővel biztosítottuk hosszú nappalos rend szerint: 16 óra megvilágítást 8 óra sötétség követett.

#### *Mikorrhiza-kolonizáció és spóraszám meghatározása*

A tenyészedények szétbontásakor a kukorica gyökerek egy részét csapvízzel történt óvatos mosás után 70%-os etanolba helyeztük. A mikorrhiza-kolonizáció mértékének meghatározásához a gyökérszövetet tripánkéssel festettük (GIOVANETTI & MOSSE 1980). A minták összehasonlításához az externális hifa, az apresszóriumok, az internális hifa és az arbuszkulumok mennyiségét négy kategóriába soroltuk. Ezek a következők: hiányzik, gyengén fejlett, közepesen fejlett, erősen fejlett. A tenyészedények szétbontását követően a talajmintákat szobahőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk. Ezután a spórákat izoláltuk GERDEMAN & NICOLSON (1963) módszere szerint.

#### *A kukorica növekedési paramétereinek, víztartalmának és a talaj víztartalmának vizsgálata*

A kísérlet végén a föld feletti növényi részeket levágtuk és nedves tömegüket lemértük. A gyökerekről a talajt óvatosan leráztuk, majd vízben lemostuk és szűrőpapírral szárazra töröltük. Ezután nedves tömegüket lemértük. A talaj és a növényi részek víztartalmát gravimetriás módszerrel állapítottuk meg. A talajt a kísérlet végén 105°C-on tömegállandóságig szárítottuk. A gyökereket és a föld feletti növényi részeket 80°C-on szárítottuk tömegállandóságig. A víztartalmat a száraz és nedves tömeg alapján számítottuk.

#### *Az adatok feldolgozása*

Az I. és II. kísérletben az adatok varianciaanalíziséhez (Nested ANOVA) és a Kruskal-Wallis teszthez a STATISTICA 5.0. számítógépes programcsomagot használtuk.

## **Eredmények**

### *Az I. kísérlet eredményei*

Ebben a kísérletben a *F. candida* egyedek 48 óra alatt egyáltalán nem fogyasztottak *G. mosseae* spórát (1. táblázat). A spórák érintetlenek voltak és legtöbbjük csíratömlőt hajtott. Az állatok a *G. intraradices* spórákból ettek, de igen keveset. A *S. coeca* esetében a spórák fogyasztása egyértelmű volt.

Mindkét AM gomba faj spóráinak egy része maradéktalanul eltűnt, más részét az állatok részben elfogyasztották, de a spórák kisebb-nagyobb darabjai az agar felszínén még felis-

merhetőek voltak. Az agar felszíne a spórák körül egyenetlenné vált. A rendelkezésre álló idő alatt a *S. coeca* a felkínált spóra mennyiségének felét fogyasztotta el. A két collembola faj spórafogyasztása szignifikánsan különbözött egymástól (*G. mossae*:  $H_{(1, N=6)}=3,97$ ,  $p=0,046$ , *G. intraradices*:  $H_{(1, N=6)}=3,86$ ,  $p=0,0495$ ).

**1. táblázat.** *S. coeca* és *F. candida* AM spóra-fogyasztása (*G. mossae* és *G. intraradices*). Az adatok a három ismétlés mediánját és zárójelben a maximum és minimum értéket jelentik. H: Kruskal-Wallis teszt H értéke, p: valószínűségi szint.

**Table 1.** Feeding of *S. coeca* and *F. candida* on spores of *G. mossae* and *G. intraradices*. Data are the medians and minimum and maximum values (in parenthesis). Number of replication is three. H: H-value of the Kruskal-Wallis test, p: probability level.

	Kiindulási spóraszám (db/petricsésze)	<i>F. candida</i>	<i>S. coeca</i>	H <sub>(1, N=6)</sub>	p
<i>G. mossae</i>	40	0 (0,1)	18 (10, 26)	3,97	0,0463
<i>G. intraradices</i>	25	2 (1,3)	10 (9, 19)	3,86	0,0495

## A II. kísérlet eredményei

### Mikorrhiza-kolonizáció és spóraszám meghatározása

A gyökerek kolonizációjának mértékét a 2. táblázatban tüntettük fel. A negatív kontroll csoportban a gyökereken nem találtuk mikorrhiza fertőzöttség jeleit, a pozitív kontroll csoportban a mikorrhizáltság a növények gyökerein egyértelműen megfigyelhető volt.

**2. táblázat.** A mikorrhiza kolonizáció mértéke a különböző kezelések mellett.

**Table 2.** The degree of colonisation in the different treatments.

	I. KG	II. KGF	III. KGS	IV. M
Externális hifa	gyengén fejlett	erősen fejlett	közepesen fejlett	erősen fejlett
Apresszórium	hiányzik	erősen fejlett	gyengén fejlett	közepesen fejlett
Internális hifa	hiányzik	erősen fejlett	közepesen fejlett	közepesen fejlett
Arbuszkulum	hiányzik	gyengén fejlett	hiányzik	gyengén fejlett

Mindkét állatot tartalmazó kezelés esetében kialakultak a mikorrhizáltságra jellemző képletek, de azok fejlettségében különbséget találtunk a két faj között. A *F. candida* esetében a gyökerek kolonizációja nagyobb mértékű volt.

A tenyészedények talajában, a kísérlet végén, az egy gramm talajra jutó spóraszám adatai az 1. ábrán láthatóak. A legmagasabb spóraszámot a mesterségesen fertőzött csoportnál találtuk, a legalacsonyabbat a KGF kezelésnél. A kontroll és a *S. coeca*-t tartalmazó kezelésnél a spóraszámok e két érték között mozogtak. A statisztikai értékelés során a KGF és a mesterségesen fertőzött csoportok között találtunk különbséget ( $F_{(3, 30)}=5,42$ ,  $p=0,004$ , Tukey HSD), miközben az egy ismétlésből vett két-két minta adatai között nem volt eltérés ( $F_{(4, 30)}=1,08$ ,  $p=0,38$ , Nested ANOVA).

*A kukorica növekedési paramétereinek, víztartalmának és a talaj víztartalmának vizsgálata*

A növények nagyságára és biomasszájára vonatkozó adatokat a 3. táblázatban, a hajtás/gyökér arányra, a talaj és a növények víztartalmára vonatkozóakat pedig a 4. táblázatban tüntettük fel.

A talaj víztartalma szignifikánsan különbözött a kísérlet végén a kezelések között. Magasabb értéke a KG és a KGS, míg alacsonyabb értékei a KGF és M kezelésekben voltak. A növények víztartalma szintén szignifikánsan különbözött az egyes kezelésekben. Eltérően a talaj víztartalmával, itt az M kezelésben kaptuk a legmagasabb és a KG kezelésben a legalacsonyabb értéket. A növények magassága és a levelek hossza nem különbözött egymástól.

**3. táblázat.** A kukorica növények fontosabb növekedési paramétereit. Az adatok öt ismétlés átlagát és szórását jelentik a különböző kezelésekben. F: a varianciaanalízis F értéke.

**Table 3.** Main growth parameters of the maize plant. Data are the average and standard deviation values. Number of replications is five. F: F-value of the ANOVA analysis.

Kezelések	Növények magassága (cm)	Levélhossz (cm)	Gyökér száraz tömege (g)	Hajtás száraz tömege (g)	Teljes száraz tömeg (g)
1. KG	54,40 ± 3,21	92,60 ± 15,08	0,19 ± 0,03	0,18 ± 0,04	0,36 ± 0,07
2. KGF	54,00 ± 2,42	94,40 ± 10,67	0,29 ± 0,14	0,19 ± 0,03	0,47 ± 0,15
3. KGS	55,20 ± 2,38	102,60 ± 14,15	0,19 ± 0,05	0,21 ± 0,04	0,40 ± 0,06
4. M	56,75 ± 2,39	99,50 ± 11,50	0,39 ± 0,11	0,24 ± 0,05	0,50 ± 0,29
Varianciaanalízis (ANOVA)					
F <sub>(3, 15)</sub>	0,33 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	4,53 *	1,61 <sup>ns</sup>	6,56 **
Kontrasztok					
1,3: 2,4					
kontraszt					
F <sub>(1, 15)</sub>			11,65 **		14,68 **

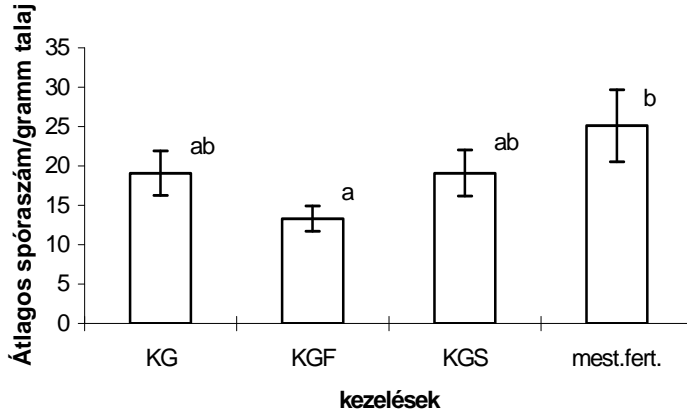
ns = nem szignifikáns, \* = p<0,05, \*\* = p<0,01

**4. táblázat.** A kukorica növények hajtás/gyökér aránya, a növény és a talaj víztartalma. Az adatok öt ismétlés átlagát és szórását jelentik a különböző kezelésekben. F: a varianciaanalízis F értéke.

**Table 4.** Shoot/root ratio, water content of the plants and soil in the different treatments. Data are the average and standard deviation values. Number of replications is five. F: F-value of the ANOVA analysis.

Kezelések	Hajtás/gyökér arány	Növények víztartalma (g növény <sup>-1</sup> )	Talaj víztartalma (%)
1. KG	0,94 ± 0,17	3,71 ± 0,77	17,23 ± 1,50
2. KGF	0,76 ± 0,33	4,12 ± 0,60	14,99 ± 1,35
3. KGS	1,19 ± 0,62	4,13 ± 0,24	16,66 ± 1,46
4. M	0,67 ± 0,30	5,04 ± 0,40	14,42 ± 1,68
Varianciaanalízis (ANOVA)			
F <sub>(3, 15)</sub>	1,58 <sup>ns</sup>	4,55 *	3,70 *
Kontrasztok			
1,3: 2,4 kontraszt			
F <sub>(1, 15)</sub>		6,85 *	10,64 **

A föld feletti növényi részek biomasszájára és a hajtás/gyökér arányra a kezelések nem gyakoroltak hatást. Ugyanakkor, a gyökér száraz tömegére és a növények teljes száraz tömegére a kezelések szignifikáns hatást gyakoroltak. A KGF és M kezelésekben az említett paraméterek értékei magasabbak voltak, mint a KG és KGS kezelések megfelelő értékei.



**1. ábra.** A spóraszám alakulása a tenyészedények talajában az egyes kezelésekben. Az adatok öt ismétlés átlagát és szórását mutatják. A különböző betűkkel jelölt oszlopok átlag értékei szignifikánsan különböznek egymástól.

**Figure 1.** Number of the spores in the different treatments. Number of replications is five. Significantly different average values are marked by different letters.

## Értékelés

A *F. candida*-val végzett AM-gomba spóra fogyasztási kísérletben kapott eredmények jó egyezést mutatnak az irodalmi adatokkal, miszerint az állatok vizes agaron nem eszik a *G. mosseae* AM-gombafaj spóráit (MOORE et al. 1985). A *S. coeca*-ra vonatkozó irodalmi adatokat nem találtunk, így új eredmény, hogy ez a faj fogyasztja a *G. mosseae* és *G. intraradices* AM-gomba spórákat laboratóriumi körülmények között. A két ugróvillás faj spóra fogyasztásában kimutatott jelentős különbség a viszonylag alacsony (három) ismétlésszám ellenére megbízható eredménynek tűnik.

A tenyészedényes kísérlet fő eredménye, hogy mind a két faj képes a mikorrhiza terjesztésére a talajban. A *F. candida* esetében (ez a faj a megelőző kísérletben nem fogyasztotta a *G. mosseae* spórákat) erőteljesebb mikorrhizáltságot találtunk, mint a *S. coeca*-nál, amelyik faj fogyasztott a spórákból. A jelenség több módon is magyarázható.

MOORE (1985) laboratóriumi kísérleteiben azt találta, hogy a *F. candida* nem fogyasztja sem a *G. mosseae* hifákat, sem a spórákat. Jelen kísérlet adatai is ezt a megállapítást támasztják alá. Amennyiben spórákkal történt a fertőzés, úgy a spórák átjuttatása a



kültakaró közvetítésével jöhetett létre, és a két faj között a mikorrhizáltság mértékében kialakult különbség morfológiai okokra vezethető vissza. Elképzelhető az is, hogy a *F. candida* elfogyasztja a hifákat. A mikorrhizáltság terjesztése ekkor az ürülékbe bekerülő hifafragmentumok segítségével valósulna meg.

Az eredményeket több folyamat is befolyásolhatta. Erre vonatkozóan a következő hipotézisek állíthatók fel:

1./ Az ugróvillások megrágnak a növények hajszálgököreit, ami stresszhatást jelent a növények számára. A különböző stresszhatások pedig fokozzák a növények igényét a szimbiotikus kapcsolat kialakítására. Lehetséges, hogy a két ugróvillás faj a gököreket nem egyforma intenzitással fogyasztja, és a *F. candida* erőteljesebben sérti a növények hajszálgököreit, növeli a stresszhatást és fokozza a kolonizáció mértékét.

2./ Az ugróvillások a talajban nem csupán a mikorrhiza egyes részeit, de a szaprofita gombákat is elfogyasztják (ANDERSON & HEALEY 1972, BAKONYI et al. 1994, BAKONYI, 1998). Fontos folyamat a talaj tápanyagainak körforgalmában, hogy a talajban élő mikroarthropodák az elfogyasztott szerves anyagokat mineralizálják. Ha a *F. candida* a *G. mossea* AM gombát nem, viszont más talajban élő gombákat elfogyasztott, akkor többet mineralizált szerves tápanyagforrást, elsősorban nitrogént biztosított a növénynek és egyúttal az AM gombának is.

3./ A *S. coeca* ugróvillásnál kialakult kisebb mértékű kolonizációban az állatok viselkedése is szerepet játszhat. E faj egyedei sokat tartózkodtak a spórákat, hifákat, mikorrhizált gyökérdarabokat tartalmazó edényben (tesztekkel nem igazolt megfigyelés). A *S. coeca* csekélyebb mozgási aktivitása is okozhatta, hogy a növények gyökerein az externális hifa mennyisége kisebb volt ebben a kezelésben, mint a *F. candida*-t tartalmazó kezelésben.

A talajban lévő spóraszám nem mindig mutat szoros korrelációt a mikorrhiza aktivitással. A kontroll edényekben talált spóraszám a talajban eleve meglévő nyugvó állapotú, idős, meghatározatlan fajú AM-gombaspórákat foglalja magában. A mesterséges fertőzés esetében ez az érték magasabb, hiszen a talajhoz spórát tartalmazó talajt kevertünk. Szignifikánsan alacsonyabb spóraszámot csak a *F. candida*-t tartalmazó és a mesterségesen fertőzött kezelések között találtunk. Az alacsonyabb spóraszámot ennél a fajnál a talajban eredetileg jelenlévő AM gombafajok nyugvó spóráinak elfogyasztása okozhatta. Igaz, hogy a *F. candida* a jelen kísérletben a *G. mosseae* spórákat nem fogyasztotta, viszont MOORE et al. (1985) vizsgálatában fogyasztotta a *Glomus fasciculatum* és a *Gigaspora rosea* spóráit. A *S. coeca* fajnál kimutatott magasabb spóraszámot okozhatta, hogy az állatok többet tartózkodtak a spórákat és hifákat tartalmazó edényben, és intenzíven fogyasztották az itt található *G. mosseae* spórákat, míg a tenyészedény talajában lévő eredeti spórákat ezzel összefüggésben nem, vagy csak kevésbé fogyasztották.

Az irodalmi adatoknak (KAISER & LUSSENHOP 1991, POSTA 1997, WARNOCK 1982) megfelelően a jobban kolonizált növények biomasszája (KGF és M kezelés) nagyobb volt, mint a nem kolonizált növényeké (KG). A növények víztartalma a KG és KGS kezeléseknél szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a KGF és a mesterségesen fertőzött kezeléseknél.

Ezzel párhuzamosan az alacsony víztartalmú növényeknél a talaj víztartalma szignifikánsan magasabb volt, mint a másik két csoportban. Ez egyezést mutat az irodalomban

leírtakkal (BETHLENFALVAY et al. 1988), miszerint a mikorrhizált növények szárazságtűrőbbek a nem mikorrhizált fajtársaikhoz képest.

A kutatások további irányát jelentheti annak a vizsgálata, hogy a különböző ugróvillás fajok kültakaróján milyen módon diszpergálódhat AM-gomba spóra és hifa. A másik fontos kérdés, hogy a bélcsatornán átjutott hifa, illetve spóra képes-e kezdeti fertőzést létrehozni egy nem mikorrhizált gazdanövényen? Érdemes lenne megvizsgálni ennek a két ugróvillásnak a kukorica hajszálgököreire gyakorolt hatását is, mivel így tisztázódhatna, hogy a gökök fogyasztása valóban stimulálja-e a mikorrhiza képződést.

**Köszönetnyilvánítás.** A munkát az OTKA a TO 22777 sz. és a TO 30697 sz. pályázatokkal támogatta. Köszönjük a két lektor segítő észrevételeit.

## Irodalom

- ANDERSON J. M. & HEALEY I. N. (1972): Seasonal and interspecific variation in major components of the gut contents of some woodlands Collembola. – *Journal of Animal Ecology* 41: 359–368.
- BAKONYI G. (1989): Effects of *Folsomia candida* (Collembola) on the microbial biomass in a grassland soil. – *Biology and Fertility of Soils* 7: 138–141.
- BAKONYI G., DOBOLYI C. & LE, B. T. (1994): <sup>15</sup>N uptake by collembolans from bacterial and fungal food source. – *Acta Zoologica Fennica* 194: 136–138.
- BAKONYI G. (1998): Nitrogen turnover of *Sinella coeca* (Collembola: Entomobryidae). – *European Journal of Entomology* 95: 321–326.
- BETHLENFALVAY G. J., BROWN M. S., AMES R. N. & THOMAS R. S. (1988): Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. – *Physiol. Plant.* 72: 565–571.
- BETHLENFALVAY G. J. (1992): Mycorrhizae in the agricultural plant-soil system. – *Symbiosis* 14: 413–425.
- BRUNDRETT M., MELVILLE L. & PETERSON L. (1994): *Practical methods in Mycorrhiza Research*. – Mycologue Publications, Waterloo.
- FINLAY R. D. (1985): Interactions between soil micro-arthropods and endomycorrhizal associations of higher plants. – In: FITTER A. H., ATKINSON D., READ D J. & USHER M. B. (eds.). *Ecological Interactions in Soil*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 319–331.
- FITTER A. H. (1985): Functioning of vesicular-arbuscular mycorrhizas under field conditions. *New Phytologist* 99: 257–265.
- GERDEMANN J. H. & NICHOLSON T. H. (1963): Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet-sieving and decanting. – *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235–244.
- GIOVANETTI M. & MOSSE B. (1980): An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots. – *New Phytologist* 84: 489–500.
- KAISER P. A. & LUSSENHOP J. (1991): Collembolan effects on establishment of vesicular-arbuscular mycorrhizae in soybean (*Glycine max*). – *Soil Biology and Biochemistry* 23: 307–308.
- KLIRONOMOS J. N. & MOUTOGLIS P. (1999): Colonization of nonmycorrhizal plants by mycorrhizal neighbours as influenced by the collembolan, *Folsomia candida*. – *Biology and Fertility of Soils* 29: 277–281.
- LUSSENHOP J. (1992): Mechanisms of microarthropod-microbial interactions in soil. – *Advances in Ecological Research* 23: 1–33.

- MALLOCH D. W., PIROZYNSKI K. A. & RAVEN P. H. (1980): Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbiosis in vascular plants (a review). – Proceedings of the National Academy of Science, USA 77: 2113–2118.
- MOLINA R., MASSICOTTE H. & TRAPPE J. M. (1992): Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: Community-ecological consequences and practical implications. – In: ALLEN M. F. (ed.). Mycorrhizal Functioning. Chapman & Hall, New York, pp. 357–423.
- MOORE J. C., ST JOHN T. V. & COLEMAN D. C. (1985): Ingestion of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae and spores by soil microarthropods. – Ecology 66: 1979–1981.
- POSTA, K. (1997): Az endomikorrhiza szerepe a környezeti stresszhatások kivédésében. – Agrokémia és Talajtan. 46: 359–369.
- RABATIN S. C. & STINNER B. R. (1989): The significance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal-soil macroinvertebrate interactions in agroecosystems. – Agriculture, Ecosystems and Environment 27: 195–204.
- SMITH G. S. & KAPLAN D. T. (1988): Influence of mycorrhizal fungus, phosphorous, and burrowing nematode interactions on growth of roughlemon citrus seedlings. – Journal of Nematology 20: 539–544.
- WARNER N. J., ALLEN, M. F. & MACMAHON J. M. (1987): Dispersal agents of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a disturbed arid ecosystem. – Mycologia 79: 721–730.
- WARNOCK A. J., FITTER A. H. & USHER M. B. (1982): The influence of a springtail *Folsomia candida* (Insecta, Collembola) on the mycorrhizal association of leek (*Allium porrum*) and the vesicular-arbuscular mycorrhizal endophyte *Glomus fasciculatus*. – New Phytologist 90: 285–292.

## The role of Collembolan in spreading of arbuscular mycorrhiza

ANIKÓ SERES, GÁBOR BAKONYI & KATALIN POSTA

The aim of our study was to examine (1) do the *Folsomia candida* and *Sinella coeca* Collembola species feed on the spores of *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* AM fungus species in laboratory experiments? (2) are the two Collembola species able to spread the mycorrhiza in the soil and with the aid of this process to influence maize plants height, biomass and water content?

It was found that *F. candida* do not consume the spores of *G. mosseae* at all in laboratory experiments, but *S. coeca* consumed them. Both species are able to spread of mycorrhiza in the soil, but the efficiency of spreading is different. *F. candida* carried the infection more effectively than *S. coeca* in spite of the fact that *F. candida* did not consume the spores in the food choice experiment. It is possible that spreading of spores and/or hypha fragments took place on the body surface of the animals. The difference that appeared in the degree of colonisation can be explained through the different activity, feeding strategies and morphology of the two species.

It was found higher root biomass, total plant biomass and plant water content in the presence of both collembola species than in the control treatment without collembolas. These results can be explained assuming that collembolas improved the dispersion of the AM fungi therefore enhanced plant nutrient and water uptake due to mycorrhizal colonisation.

Keywords: Collembola, arbuscular mycorrhiza, food selection, maize biomass.