

GYAPJÚ A NÖVÉNYVÉDELEM SZOLGÁLATÁBAN: KÖLCSÖNHATÁSOK VIZSGÁLATA TALAJLAKÓ KÓROKOZÓKKAL IN VITRO KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Mohammed H. Alabbasi, Samara Ounis, Turóczy György, Veres Andrea és Juhász András Lajos

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Növényvédelmi Intézet, Integrált Növényvédelmi Tanszék,
2100, Gödöllő, Péter Károly u. 1.
e-mail: juhasz.andras.lajos@uni-mate.hu

A fenntartható növénytermesztés egyik ígéretes eszköze a természetes eredetű anyagok alkalmazása, amelyek egyaránt szolgálhatnak tápanyagforrásként és a biológiai növényvédelem hordozóanyagaként. Vizsgálatunk célja a gyapjúpellet hatásának értékelése volt in vitro körülmények között két fontos talajlakó kórokozó gomba, a Sclerotinia sclerotiorum és a Rhizoctonia solani, valamint az antagonista Trichoderma asperellum növekedésére és kölcsönhatásaira. A különböző gyapjúkoncentrációk szignifikánsan befolyásolták a telepnövekedést. A S. sclerotiorum esetében dózis-válasz összefüggést tapasztaltunk: a magas gyapjúadag erőteljesen gátolta a telepek növekedését. Ezzel szemben a R. solani gátlása a legalacsonyabb koncentrációnál volt a legerőteljesebb, ami nemlineáris válaszméchanizmusra utal. A kettős tenyészetekben a gyapjú fokozta a T. asperellum antagonista aktivitását, különösen a S. sclerotiorum ellen. Eredményeink azt mutatják, hogy a gyapjú közvetlen fungisztikus hatással rendelkezik, emellett hordozó- és tápanyagforrásként előnyhöz juttathatja a biokontroll-ágenseket. A gyapjú mezőgazdasági felhasználása ígéretes lehet a kórokozók visszaszorításában és az integrált növényvédelemben.

Kulcsszavak: gyapjú, *Trichoderma asperellum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, biológiai védekezés, antagonizmus

A konvencionális mezőgazdaság alapköve többnyire a kémiai növényvédő szerek és a műtrágyák alkalmazása volt (Vasile és mtsai 2015). A károsítók populációiban kialakult szerreztencia és a káros környezeti következmények felismerése, mint pl. a nem célszervezetekre gyakorolt negatív hatások, az integrált növényvédelem fényében új megoldások felé terelték a szakembereket (Keswani és mtsai 2016, Özgökçe és mtsai 2018). Továbbá a műtrágyák hatékonyságát és környezeti hatásait is egyre inkább megkérdőjelezzik (Wang és mtsai 2018). A természetes trágyaanyagok biológiai védekezési ágensekkel való dúsítása egyre népszerűbb, mivel környezetbarát mezőgazdasági gyakorlatokat tesz lehetővé, és sikeres, hatékony növényvédelmi programokat eredményezhet a kártevők biokontrollja és a növényi növekedés elősegítésén keresztül (Pugliese és mtsai 2011, Malusá és mtsai 2012). Ezen anya-

gok közé tartozik a gyapjú is, amely hatékony talajjavítóként használható (Kroening és mtsai 2004). A növények számára tápanyagforrásként szolgál (Zheljazkov és mtsai 2008), mivel jelentős mennyiségű kén, nitrogén, foszfor és káliumot tartalmaz (Tiwari és mtsai 1989, Zheljazkov és mtsai 2009, Górecki és Górecki 2010, Ordiales és mtsai 2016, Palla és mtsai 2022). A felszín alá juttatott gyapjú jelentős mértékben befolyásolhatja pozitív irányba a talaj vízháztartását is (Zoccola és mtsai 2015).

A talajban élő mikroorganizmusok részt vesznek a tápanyagok körforgásában, a szerves vegyületek lebontásában, a talaj eredetű növényi betegségek lefolyásában, és így akár a kórokozók és kártevők visszaszorításában (Kennedy 1999, Artursson és mtsai 2006). Ezek a szervezetek képesek a gyapjút alkotó polipeptideket (keratin) fokozatosan egyre egyszerűbb vegyületekké lebontani, így az lassú feltáródású trá-

gyaként funkcionálhat (Ignatova és mtsai 1999, Zheljzakov 2005, Nustorova és mtsai 2006). Egyes kutatások bebizonyították, hogy a gyapjú talajba keverése serkenti a mikrobiális közösségek aktivitását, pl. a *Bacillus* fajok populációit (Nustorova és mtsai 2006, Zheljzakov és mtsai 2008), tehát fenntartható és tápanyagban gazdag szubsztrátot biztosíthat a talajlakó szervezetek számára, elősegítve a talaj egészségét és a növények vitalitását (Jibia és mtsai 2018).

A gyapjú nem csak közvetlen hatásai révén befolyásolhatja a talajéletet, hordozóanyagként felhasználva biztosíthatjuk az antagonisták túlélését és hatékonyságát. Így megóvhatjuk a hasznos mikroorganizmusokat a környezeti stressz hatásoktól a szállítás és a kijuttatás során (Maçik és mtsai 2020).

Számos antagonista (pl. a *Trichoderma* spp.) (Verma és mtsai 2007)) képes elnyomni növényi kórokozókat. Ezt több folyamat révén érhetik el: versengenek az élettérért és a tápanyagokért (Bloemberg és Lugtenberg 2001, Benítez és mtsai 2004), másodlagos metabolitokat termelnek (Devi és mtsai 2011, Garrido-Jurado és mtsai 2017, Vega 2018), illetve aktiválhatják a növények védekező mechanizmusait (Persello-Cartieaux és mtsai 2003, Harman és mtsai 2004, Kloepper és mtsai 2004, Bostock 2005, Jaber és Vidal 2009, Mayo és mtsai 2015). Ezek az antagonista mikroorganizmusok képesek megtelepedni a növények földfelszín alatti és feletti szöveteiben egyaránt, így felhasználhatók a rizoszférában és a növény felületén (Vinale és mtsai 2008, Rosmana és mtsai 2018).

Az integrált növényvédelem egyik agrotechnológia eleme lehet a gyapjú alkalmazása, azonban ennek felhasználásáról keveset tudunk a növény-antagonista-kórokozó kölcsönhatásokat illetően. Fontos, hogy megvizsgáljuk ezen interakciók jellemzőit, hogy a gyapjúval kijuttatott mikrobiális oltóanyagok hatékonyságát a jövőben növelhessük.

Ennek megfelelően vizsgálatunk célja annak értékelése volt, hogy a biokontroll-ágensként ismert *Trichoderma asperellum* gomba, valamint két kórokozó, a *Rhizoctonia solani* és a *Sclerotinia sclerotiorum* növekedését hogyan

befolyásolja a táptalajhoz adott gyapjú pellet, illetve van-e hatása az antagonista aktivitásra a növényi kórokozó gombákkal szemben.

Anyag és módszer

A gyapjút pellet formájában biztosította az Agrologica Kft. A gyapjúpellet nyers, mosatlan gyapjúból készül, amelyet napsütésben szárítanak, majd 4–6 mm-es darabokra aprítanak. Ezután a darabokat 110 °C-on, nagy nyomáson pelletálják annak érdekében, hogy a káros mikroorganizmusok szintje a határérték alatt maradjon.

A vizsgálatokban szereplő *Trichoderma asperellum* (izolátum azonosító: NVIINVT01) és a *Sclerotinia sclerotiorum* (izolátum azonosító: NVIINVTSc14) gombák a MATE Növényvédelmi Intézet Integrált Növényvédelmi Tan-székének törzsgyűjteményéből származnak. A *Rhizoctonia solani* növénykórokozót frissen izoláltuk természetes körülmények között fertőzött burgonyagumóról.

Táptalajok előkészítése

A gyapjútáptalajt 3 koncentrációban állítottuk elő: 100 ml burgonya-dextróz agarhoz (PDA) 0,5 gramm, 1,0 gramm, valamint 2,0 gramm gyapjúpelletet adagoltunk, és botmixer segítségével homogenizáltuk az elegyet. A sterilizálás folyamata során a táptalajt 20 percen keresztül 121 °C-on kezeltük. A PDA-táptalajt – amely kontrollként szolgált – a standard eljárás szerint készítettük el gyapjú hozzáadása nélkül.

Telepnövekedés vizsgálata

A PDA-táptalajt és a három gyapjúkoncentrációt (0,5 g, 1 g és 2 g/100 ml) 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe (Avantor code 391-0699) öntöttük. A tesztgombák (*T. asperellum*, *R. solani*, *S. sclerotiorum*) növekvő telepeinek széléből kivágott 1,3 cm átmérőjű korongot a táptalajlemezek közepére oltottuk (4 ismétlésben). A tenyészeteket 25 ± 1 °C-on, sötétben inkubáltuk. A gombatelepek telepátmérő

növekedését naponta egyszer mértük négy napon keresztül, minden telepről a két, egymásra merőlegesen mért átmérő átlagolásával. A negyedik napra a telepek minden esetben elérték a Petri-csészé szélét.

Antagonista aktivitás vizsgálata kettős tenyészetben

Hasonlóan az előzőekben leírtakhoz, a PDA-táptalajt három gyapjúkoncentrációval (0,5 g, 1 g és 2 g/100 ml) kezeltük. A kórokozók telepeiből (*T. asperellum*, *R. solani*, *S. sclerotiorum*) két gombakultúrát oltottunk 1 Petri-csészébe (Avantor code 391-0699). Az aktívan növekvő telepekből 1 db 1,3 cm átmérőjű micéliumkorongot vágunk ki, majd a Petri-csészé ellentétes oldalaira helyeztük őket, 1 cm távolságra a peremtől.

A kórokozó–antagonista kombinációt négyszer ismételtük kezelésenként. Az inokulált Petri-csészéket 25 ± 1 °C-on inkubáltuk. A gombatelepek radiális növekedését naponta mértük, minden telep két átmérőjének átlagolásával a 4. napig, hasonlóan az előzőekben leírthoz. Az antagonista hatást a 4. napon mért értékek alapján értékeltük.

Statisztikai vizsgálat

Az adatokat Microsoft Excel programban rögzítettük, ezután az elmentett Excel munkafüzetet az R programba importáltuk. Shapiro-Wilk teszttel, illetve QQ ábra segítségével ellenőriztük a normalitást. Miután a minták nem tértek el szignifikánsan a normálistól, ellenőriztük a homoszkedaszticitást. A Levene teszt alapján a kétmintás t-próbát használtuk arra, hogy eldöntsük, két beállítás között van-e szignifikáns különbség.

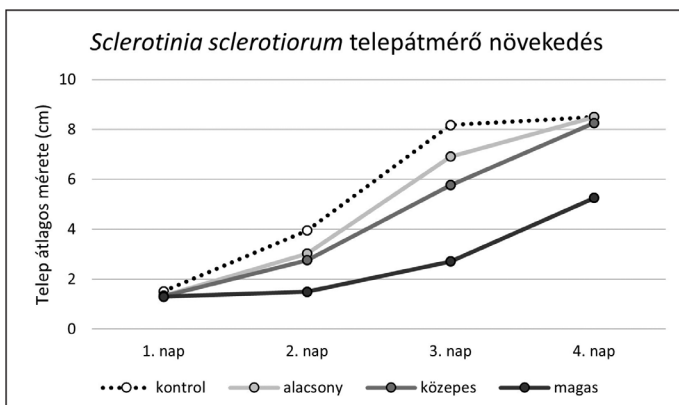
Amennyiben az adatok nem feleltek meg a normalitásnak, Páros Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát végeztünk.

Eredmények

Telepnövekedés vizsgálata

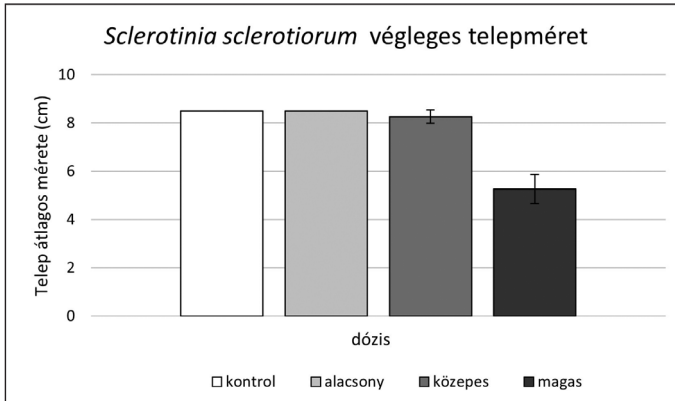
Sclerotinia sclerotiorum

A kísérlet négy napját végig kísérve, és a négy nap adatait figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a *S. sclerotiorum* kezelésben a kontroll és a gyapjúval kezelt telepek között szignifikáns különbség volt (kontroll – alacsony: $p=0,014$; kontroll – közepes: $p=0,002$; kontroll – magas: $p<0,001$). Az alacsony dózissal kezelt telepek között a *S. sclerotiorum* telep szignifikánsan nagyobb volt a közepes és magas dózishoz képest (alacsony – közepes: $p=0,013$; alacsony – magas: $p<0,001$). Továbbá a magas gyapjú dózissal kezelt Petri-csészében a gombatelepek szignifikánsan kisebbek voltak a közepeshez képest (közepes – magas: $p=0,002$). A magas gyapjú dózissal kezelt szklerotínia telep a kísérlet ideje alatt végig kisebb volt a többi kezeléshez képest (1. ábra).



1. ábra. Négy nap során mért *Sclerotinia sclerotiorum* telepátmérő növekedésének dinamikája az egyes kezelések szerint (kontroll: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)

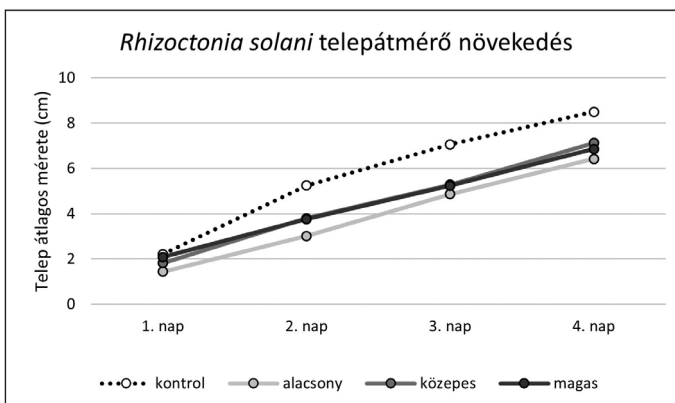
Csupán a 4. nap adatai alapján szignifikáns különbséget nem lehetett kimutatni a kezelések között, ugyanakkor elmondhatjuk, hogy a magas gyapjú dózissal beállított kezelésben volt a legkisebb a kialakult gombatelepek (Magas konc.: 5.26 ± 0.05 mm; Kontroll: 8.50 ± 0.00 mm) (2. ábra).



2. ábra. A 4. napon mért *Sclerotinia sclerotiorum* végleges telepmérete az egyes kezelések szerint (kontrol: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)

Rhizoctonia solani

A *R. solani* kórokozóval beállított kísérletben a kontrol szignifikánsan különbözött a gyapjúval kezelt gombatelek méretétől (kontrol – alacsony; közepes; magas: $p < 0,001$). Az alacsony gyapjú koncentrációval beállított kezelésben a telep növekedése szignifikánsan kisebb mértékű volt a közepes és magas dózishoz képest ($p < 0,001$). A közepes és magas koncentrációjú kezelések között nem volt statisztikailag kimutatható különbség. A 4 nap során a gyapjúval kezelt



3. ábra. Négy nap során mért *Rhizoctonia solani* telepátmérő növekedésének dinamikája az egyes kezelések szerint (kontrol: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)

rizoktónia telepek hasonlóan alakultak (3. ábra). A 4. napon tapasztaltak alapján a telepek mérete között nem volt szignifikáns különbség, azonban azt megállapíthatjuk, hogy a gyapjúval kezelt táptalajokon kisebb mértékű volt a *R. solani* telepeinek növekedése, mint a kontrolban (Alacsony konc.: 6.425 ± 0.05 mm; Kontrol: 8.50 ± 0.00 mm) (4. ábra).

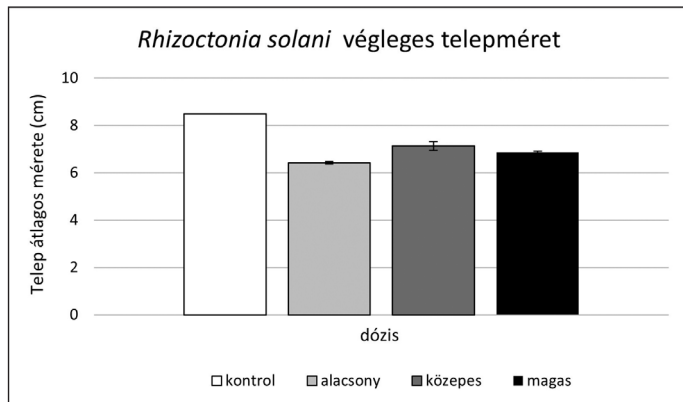
Trichoderma asperellum

A gyapjú szignifikánsan csökkentette a *T. asperellum* növekedését ($p = 0,004$). A gombatelep méretének redukciója egyenesen arányos volt a pelletdózis emelésével (Magas konc.: 5.66 ± 0.05 mm; Kontrol: 6.29 ± 0.00 mm).

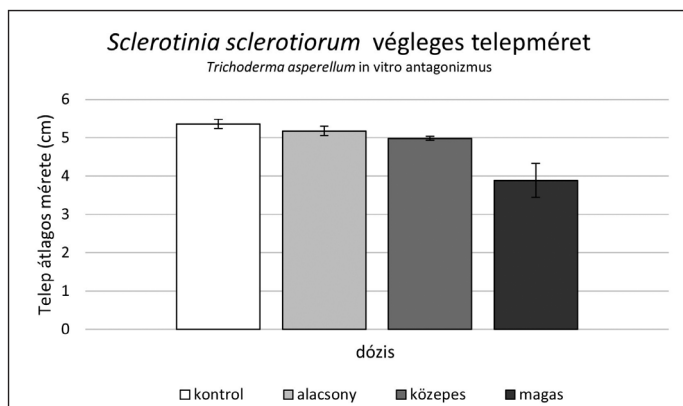
Antagonista aktivitás vizsgálata kettős tenyészetben

Sclerotinia sclerotiorum és *Trichoderma asperellum*

A *S. sclerotiorum* telep mérete a kontrol kezelésben volt a legnagyobb, és szignifikánsan különbözött a gyapjúval kezeltől (kontrol – alacsony: $p = 0,001$; kontrol – közepes: $p = 0,008$; kontrol – magas: $p = 0,011$). Az alacsony koncentrációjú gyapjúval beállított kezelésben a kórokozó telep mérete szignifikánsan nagyobb volt a magas dózissal képest ($p = 0,015$). Továbbá a közepes gyapjú dózissal beállított kezelésben a *S. sclerotiorum* telep szignifikánsan nagyobb volt a magas koncentrációval kezeltéhez képest ($p = 0,021$). (Magas konc.: 3.88 ± 0.05 mm; Kontrol: 8.50 ± 0.00 mm) (5. ábra).



4. ábra. A 4. napon mért *Rhizoctonia solani* végleges telep mérete az egyes kezelések szerint (kontroll: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)



5. ábra. A 4. napon mért *Sclerotinia sclerotiorum* végleges telep mérete az egyes kezelések szerint antagonizmus kettős tenyésztében *Trichoderma asperellum*-mal (kontroll: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)

Rhizoctonia solani és *Trichoderma asperellum*

A *R. solani* telep növekedését megvizsgálva statisztikailag kimutatható különbség volt a kezelések között. A kontroll kezelésben statisztikailag nagyobb volt a *R. solani* telepe, mint a gyapjúval kezelt táptalajokon (kontroll – alacsony: $p=0,005$; kontroll – közepes: $p=0,006$; kontroll – magas: $p=0,002$). Az alacsony és a közepes, illetve a közepes és a magas gyapjúkoncentráció között nem volt szignifikáns

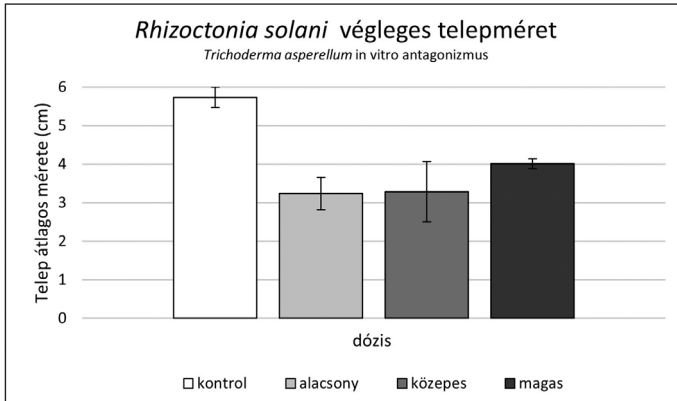
különbség, azonban az alacsony és a magas között igen ($p=0,042$) (Alacsony: 3.24 ± 0.05 mm; Kontroll: 8.50 ± 0.00 mm) (6. ábra).

Következtetések

Telepnövekedés vizsgálata

Megállapítottuk, hogy a gyapjúpellet gátolja a szklerotínia és a rizoktónia növekedését. A *S. sclerotiorum* esetében a gátlás a gyapjúkoncentráció növekedésével fokozódott, egyértelmű dózis-válasz összefüggést mutatva. A magas koncentrációjú kezelés eredményezte a legkisebb átlagos átmérőt. Ez arra enged következtetni, hogy a gyapjúnak közvetlen gombaelnyomó hatása van, vagy a tápanyagokért folytatott kompetitív kizárásról van szó, amely a szubsztrátum mennyiségének növelésével erősödik. Korábbi megfigyelések alapján is megállapították, hogy egyéb természetes eredetű anyagok, mint az istállótrágya jelentősen gátolhatják a *S. sclerotiorum* micéliumnövekedését (Asirifi és mtsai 1994).

Ezzel szemben az *R. solani* gátlása eltérő mintázatot mutatott: a legerősebb gátlás az alacsony gyapjúkoncentráció mellett volt tapasztalható. Ez a nem-lineáris válasz arra utal, hogy a mechanizmus nem pusztán tápanyaghoz köthető. Elképzelhető, hogy az alacsony koncentrációjú egyben bizonyos gyapjúból származó vegyületek (például rövid szénláncú peptidok, aminosavak vagy nyomelemek, amelyek a lebomlás során szabadulnak fel) olyan mennyiségben vannak jelen, amelyek közvetlenül gátolják az *R. solani*-t. Magasabb koncentrációknál ezeket a vegyületeket a kórokozó vagy más mikroor-



6. ábra. A 4. napon mért *Rhizoctonia solani* végleges telep mérete az egyes kezelések szerint antagonizmus kettős tenyésztésben *Trichoderma asperellum*-mal (kontroll: gyapjúval nem kezelt PDA, alacsony: 0,5 gramm gyapjúval kezelt PDA, közepes: 1,0 gramm gyapjúval kezelt PDA, magas: 2,0 gramm gyapjúval kezelt PDA)

ganizmusok metabolizálhatják, illetve a bőséges tápanyag részben ellensúlyozhatja a gátló hatást, lehetővé téve a nagyobb növekedést. Mindazonáltal az elnyomó hatás összhangban áll más vizsgálattal, amely szerint a keratinban és kitinben gazdag szubsztrátumok csökkenthetik az *R. solani* által okozott betegségek előfordulását (Andreo-Jiménez és mtsai 2021).

Összességében ezek az eredmények arra utalnak, hogy a gyapjú képes befolyásolni a mikrobiális kölcsönhatásokat a kórokozó gombák hátrányára, azonban a hatás specifikus a kórokozóra, és a gyapjú koncentrációjától függ.

Antagonista aktivitás vizsgálata kettős tenyésztésben

A *Trichoderma* spp. széles körben hatékony biokontroll-ágensek mind a *Sclerotinia* spp., mind a *Rhizoctonia* spp. ellen, többek között a tápanyagokért való versengés, a mikoparazitizmus, az antibiotikumok kiválasztása és a szisztémikus rezisztencia indukálása révén (Benítez és mtsai 2004, Harman és mtsai 2004).

Kísérletünkben a gyapjúval kiegészített táptalaj fokozta a *T. asperellum* gátló hatását a *S. sclerotiorum*-mal szemben, különösen a legmagasabb gyapjúkoncentráció mellett. A gyapjú *R. solani*-ra gyakorolt közvetlen hatása valószínűleg befolyásolta az antagonista

kölcsönhatásokat. Ez arra utal, hogy a gyapjúnak fungisztatikus hatása van, amelynek több oka lehet, egyrészt közvetlen (amelynek hatása kórokozó- és koncentrációfüggő), másrészt tápanyagforrás és védő hordozó, amely versenyelőnyt biztosít a *Trichoderma*-nak.

Korábbi, biokontroll-ágensek hordozóanyagaival kapcsolatos vizsgálatok során megállapították, hogy aminosav- és komposztalapú hordozók tápanyagokkal kiegészítve magas *Trichoderma* populációt eredményeznek, és fokozott patogén elnyomást tapasztal-

hatunk a talajban (Huang és mtsai 2011, Yang és mtsai 2011). A *Trichoderma asperellum* antagonista aktivitása szintén fokozódott gyapjú jelenlétében. Biológiai szempontból a gyapjú számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, amelyek ígéretes hordozóvá tehetik.

IRODALOM

- Andreo-Jimenez, B., Schilder, M.T., Nijhuis, E.H., te Beest, D.E., Bloem, J., Visser, J.H.M., van Os, G., Brolsma, K., de Boer, W. and Postma, J. (2021): Chitin- and keratin-rich soil amendments suppress *Rhizoctonia solani* disease via changes to the soil microbial community. Applied and Environmental Microbiology, 87(11), e00318-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.00318-21>
- Artursson, V., Finlay, R.D. and Jansson, J.K. (2006): Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environmental Microbiology, 8(1): 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00942.x>
- Asirifi, K.N., Morgan, W.C. and Parbery, D.G. (1994): Suppression of *Sclerotinia* soft rot of lettuce with organic soil amendments. Australian Journal of Experimental Agriculture, 34(1): 131–136. <https://doi.org/10.1071/ea9940131>
- Benítez, T., Rincón, A.M., Limón, M.C. and Codón, A.C. (2004): Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology, 7(4): 249–260.
- Bloemberg, G.V. and Lugtenberg, B.J.J. (2001): Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. Current Opinion in Plant Biology, 4(4): 343–350. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(00\)00183-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(00)00183-7)

- Bostock, R.M.** (2005): Signal crosstalk and induced resistance: Straddling the line between cost and benefit. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1): 545–580. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095505>
- Devi, N.N., Prabakaran, J.J., and Wahab, F.** (2012): Phytochemical analysis and enzyme analysis of endophytic fungi from *Centella asiatica*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(3, Supplement), S1280–S1284. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60400-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60400-6)
- Garrido-Jurado, I., Resquin-Romero, G., Amarilla, S.P., Ríos-Moreno, A., Carrasco, L. and Quesada-Moraga, E.** (2017): Transient endophytic colonization of melon plants by entomopathogenic fungi after foliar application for the control of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Pest Science*, 90(1): 319–330. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0767-2>
- Górecki, R.S. and Górecki, M.T.** (2010): Utilization of waste wool as substrate amendment in pot cultivation of tomato, sweet pepper, and eggplant. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(5): 1083–1087.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M.** (2004): *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1): 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Huang, X., Chen, L., Ran, W., Shen, Q. and Yang, X.** (2011): *Trichoderma harzianum* strain SQR-T37 and its bio-organic fertilizer could control *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber seedlings mainly by the mycoparasitism. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(3): 741–755. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3259-6>
- Jaber, L.R. and Vidal, S.** (2009): Interactions between an endophytic fungus, aphids and extrafloral nectaries: Do endophytes induce extrafloral-mediated defences in *Vicia faba*? *Functional Ecology*, 23(4): 707–714. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01554.x>
- Jibia, S.A., Mohanty, S., Dondapati, J.S., O'hare, S. and Rahman, P.K.S.M.** (2018): Biodegradation of wool by bacteria and fungi and enhancement of wool quality by biosurfactant washing. *Journal of Natural Fibers*, 15(2): 287–295. <https://doi.org/10.1080/154440478.2017.1325430>
- Ignatova, Z., Gousterova, A., Spassov, G. and Nedkov, P.** (1999): Isolation and partial characterisation of extracellular keratinase from a wool degrading thermophilic actinomycete strain *Thermoactinomyces candidus*. *Canadian Journal of Microbiology*, 45(3): 217–222. <https://doi.org/10.1139/w98-230>
- Kennedy, A.** (1999): Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1-3): 65–76. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00030-4)
- Keswani, C., Bisen, K., Singh, V., Sarma, B.K. and Singh, H.B.** (2016): Formulation technology of biocontrol agents: Present status and future prospects. In: **Arora, N.K., Mehnaz, S. and Balestrini, R.** (Eds.), *Bioformulations: For Sustainable Agriculture* (pp. 35–52). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2779-3_2
- Kloepper, J.W., Ryu, C.-M. and Zhang, S.** (2004): Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11): 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>
- Kroening, S.J., Greenfield, L.G. and Williamson, W.M.** (2004): Variation in and constraints upon the decomposition of wooll scour sludge. *Journal of Environmental Quality*, 33(3): 1081–1087. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.1081>
- Maçik, M., Gryta, A. and Fraç, M.** (2020): Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162: 31–87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Malusá, E., Sas-Paszt, L. and Ciesielska, J.** (2012): Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *The Scientific World Journal*, e491206. <https://doi.org/10.1100/2012/491206>
- Mayo, S., Gutierrez, S., Malmierca, M.G., Lorenzana, A., Campelo, M.P., Hermosa, R. and Casquero, P.A.** (2015): Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. in growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and in the induction of plant defense-related genes. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00685>
- Nustorova, M., Braikova, D., Gousterova, A., Vasileva-Tonkova, E. and Nedkov, P.** (2006): Chemical, microbiological and plant analysis of soil fertilized with alkaline hydrolysate of sheep's wool waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(4): 383–390. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-9045-9>
- Ordiales, E., Gutiérrez, J.I., Zajara, L., Gil, J. and Lanzke, M.** (2016): Assessment of utilization of sheep wool pellets as organic fertilizer and soil amendment in processing tomato and broccoli. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2(2): 20–35.
- Özgökçe, M.S., Chi, H., Athhan, R. and Kara, H.** (2018): Demography and population projection of *Myzus persicae* (Sulz.) (Hemiptera: Aphididae) on five pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars. *Phytoparasitica*, 46(2): 153–167. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0651-0>
- Palla, M., Turrini, A., Cristani, C., Bonora, L., Pellegrini, D., Primicerio, J., Grassi, A., Hilaj, F., Giovannetti, M. and Agnolucci, M.** (2022): Impact of sheep wool residues as soil amendments on olive beneficial symbionts and bacterial diversity. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1): 45. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00534-2>
- Persello-Cartiaux, F., Nussaume, L. and Robaglia, C.** (2003): Tales from the underground: Molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant, Cell and Environment*, 26(2): 189–199. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00956.x>
- Pugliese, M., Liu, B., Gullino, M.L. and Garibaldi, A.** (2011): Microbial enrichment of compost with biological control agents to enhance suppressiveness to four soil-borne diseases in greenhouse. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 118(2): 45–50. <https://doi.org/10.1007/BF03356380>

- Rosmana, A., Sjam, S., Asman, A., Jayanti, N., Satriana, S., Padang, A. and Hakkar, A. (2018): Systemic deployment of *Trichoderma asperellum* in *Theobroma cacao* regulates co-occurring dominant fungal endophytes colonization. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 12: 1071–1084. <https://doi.org/10.22207/JPAM.12.3.05>
- Tiwari, V.N., Pathak, A.N. and Lehri, L.K. (1989): Response to differently amended wool-waste composts on yield and uptake of nutrients by crops. *Biological Wastes*, 28(4): 313–318. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90115-8](https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90115-8)
- Vasile, A.J., Popescu, C., Ion, R.A. and Dobre, I. (2015): From conventional to organic in Romanian agriculture – Impact assessment of a land use changing paradigm. *Land Use Policy*, 46: 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.02.012>
- Vega, F.E. (2018): The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: A review. *Mycologia*, 110(1): 4–30. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>
- Verma, M., Brar, S.K., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y. and Valéro, J.R. (2007): Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1): 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, S.L. and Lorito, M. (2008): *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>
- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S. and Wang, Y. (2018): What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199: 882–890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- Yang, X., Chen, L., Yong, X. and Shen, Q. (2011): Formulations can affect rhizosphere colonization and biocontrol efficiency of *Trichoderma harzianum* SQR-T037 against *Fusarium* wilt of cucumbers. *Biology and Fertility of Soils*, 47(3): 239–248. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0527-z>
- Zheljzakov, V. D. (2005): Assessment of Wool Waste and Hair Waste as Soil Amendment and Nutrient Source. *Journal of Environmental Quality*, 34(6): 2310–2317. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0332>
- Zheljzakov, V.D., Stratton, G.W. and Sturz, T. (2008): Uncomposted wool and hair-wastes as soil amendments for high-value crops. *Agronomy Journal*, 100(6): 1605–1614. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0214>
- Zheljzakov, V.D., Stratton, G.W., Pincock, J., Butler, S., Jeliakova, E.A., Nedkov, N.K. and Gerard, P.D. (2009): Wool-waste as organic nutrient source for container-grown plants. *Waste Management*, 29(7): 2160–2164. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.009>
- Zoccola, M., Montarsolo, A., Mossotti, R., Patrucco, A. and Tonin, C. (2015): Green hydrolysis as an emerging technology to turn wool waste into organic nitrogen fertilizer. *Waste and Biomass Valorization*, 6(5): 891–897. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9393-0>

WOOL IN THE SERVICE OF PLANT PROTECTION: INVESTIGATION OF INTERACTIONS WITH SOIL-BORNE PATHOGENS UNDER IN VITRO CONDITIONS

M. H. Alabbasi, S. Ounis, Gy. Turóczy, A. Veres and A. L. Juhász

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Plant Protection Institute, Department of Integrated Plant Protection, H-2100, Gödöllő, Péter Károly str. 1.

The use of natural materials that serve as both nutrient sources and carriers for biological control agents represents a promising approach in sustainable crop protection. This study aimed to evaluate the effect of wool pellets on the growth of two major soilborne pathogens, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Rhizoctonia solani*, as well as their interactions with the antagonist *Trichoderma asperellum*, under in vitro conditions. The concentration of wool had a significant influence on colony growth. In *S. sclerotiorum*, a precise dose–response relationship was observed, with high wool concentrations strongly suppressing colony development. In contrast, *R. solani* exhibited the most potent inhibition at the lowest concentration, indicating a non-linear response mechanism. In dual culture assays, wool enhanced the antagonistic activity of *T. asperellum*, particularly against *S. sclerotiorum*. These findings suggest that wool has direct fungistatic effects while also serving as a carrier and nutrient source that benefits biocontrol agents. The agricultural application of wool may thus provide a valuable tool for suppressing pathogens and implementing integrated pest management.

Keywords: wool, *Trichoderma asperellum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, biological control, antagonism

Érkezett: 2025. szeptember 1.