

DIPLOMADOLGOZAT

Pongrácz Zsófia

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növényvédelmi Intézet

Növényorvosi mesterképzési szak

**A GYAPJÚPELLET ÉS A *TRICHODERMA ASPERELLUM*
KÖLCSÖNHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA NÖVÉNYI
PATOGEN GOMBÁK NÖVEKEDÉSÉRE IN VITRO
KÖRNYEZETBEN**

Belső konzulens: Dr. Juhász András Lajos
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Növényvédelmi Intézet
Integrált Növényvédelmi
Tanszék

Készítette: Pongrácz Zsófia (CB98YU)

**Szent István Campus
2025**

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK.....	3
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1	BIOSTIMULÁTOROK	5
2.1.1	<i>Biostimulátorok jelentősége.....</i>	5
2.1.2	<i>Mikrobiális biostimulátorok.....</i>	6
2.2	GYAPJÚ PELLETT	7
2.2.1	<i>A gyapjú pellet szerepe a körforgásos gazdálkodásban</i>	8
2.3	KÓROKOZÓK ISMERTETÉSE	9
2.3.1	<i>Sclerotinia sclerotiorum.....</i>	9
2.3.2	<i>Rhizoctonia solani</i>	10
2.4	TRICHODERMA ASPERELLUM.....	11
2.4.1	<i>Trichoderma asperellum – mechanizmusai és mezőgazdasági szerepe.....</i>	12
3	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	14
3.1	VIZSGÁLT MIKROORGANIZMUSOK.....	14
3.2	TÁPTALAJOK ÉS A GYAPJÚ PELLETT	14
3.2.1	<i>PDA táptalaj - alapközeg.....</i>	15
3.2.2	<i>Gyapjú pellet.....</i>	15
3.2.3	<i>Gyapjúval dúsított táptalajok (gyapjú-PDA keverékek)</i>	16
3.2.4	<i>Sterilizálás</i>	16
3.2.5	<i>Petri-csészék előkészítése</i>	17
3.3	TELEPNŐVEKEDÉS VIZSGÁLATA	17
3.4	ANTAGONISTA HATÁS VIZSGÁLATA KETTŐS TENYÉSZETBEN.....	18
3.5	STATISZTIKAI ELEMZÉS	18
4	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSŰK	19
4.1	TELEPNŐVEKEDÉS VIZSGÁLATA	19
4.1.1	<i>Sclerotinia sclerotiorum.....</i>	19
4.1.2	<i>Rhizoctonia solani</i>	20
4.1.3	<i>Trichoderma asperellum.....</i>	22
4.2	ANTAGONISTA AKTIVITÁS VIZSGÁLATA KETTŐS TENYÉSZETBEN	22
4.2.1	<i>Sclerotinia sclerotiorum és Trichoderma asperellum.....</i>	22
4.2.2	<i>Rhizoctonia solani és Trichoderma asperellum.....</i>	23
5	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	24
5.1	TELEPNŐVEKEDÉS VIZSGÁLATA	24
5.2	ANTAGONISTA HATÁS VIZSGÁLATA KETTŐS TENYÉSZETBEN.....	24
5.3	TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK ÉS LEHETŐSÉGEK	25
6	ÖSSZEFOGLALÁS	28
7	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	30
8	IRODALOMJEGYZÉK	31

1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A mezőgazdaság az emberi civilizáció egyik alapvető tevékenysége, amely az élelmezés, a gazdasági fejlődés és a vidéki közösségek fenntartásának záloga. Az utóbbi évtizedekben azonban a modern mezőgazdaság világszerte számos kihívással szembesült, amelyek jelentősen befolyásolják az országok termelési kapacitását és a fenntarthatóságot. E kihívások közé tartozik a növekvő népesség élelmezési szükségleteinek kielégítése, a klímaváltozás hatásainak kezelése, a talajminőség romlása, valamint a növényi betegségek és kórokozók elleni védekezés biztosítása. Különösen fontos szerepet kap a növényvédelem és a fenntartható tápanyag-utánpótlás megoldása, mivel ezek alapvetően meghatározzák a növénytermesztés sikerességét és hosszú távú fenntarthatóságát. Az iparszerű mezőgazdasági termelés azonban számos kihívással néz szembe, különösen a talajminőség romlása, a túlzott műtrágyahasználatból eredő környezeti károk, valamint a növényi károsítók elleni küzdelem terén. Továbbá komoly fenyegetést jelentenek a növényi kórokozók, mivel jelentős mértékben csökkenthetik a terméshozamot és a termény minőségét. A növényi kórokozók olyan organizmusok vagy biológiai ágensek, amelyek megbetegedést okoznak a gazdanövényekben. A talajlakó növénykórokozók világszerte jelentős gazdasági veszteségeket okoznak a mezőgazdasági termelésben. Ezek közé tartoznak különböző gombák, baktériumok, fonálférgék és más mikroorganizmusok, amelyek képesek a növények gyökerét, szárát vagy szöveteit megfertőzni, és ezzel közvetlenül befolyásolni a növény fejlődését, élettartamát és terméshozamát. A gombák e csoportján belül különösen veszélyesek azok a fajok, amelyek hosszú ideig képesek fennmaradni a talajban szkleróciumok vagy más kitaró képletek formájában, így jelentős fertőzési potenciált képviselnek a vetésforgó ellenére is. Ezen kórokozók közé tartozik többek között a *Sclerotinia sclerotiorum* és a *Rhizoctonia solani*, amelyek rendkívül széles gazdanövénykörrel rendelkeznek, és különböző környezeti tényezők – például hőmérséklet, nedvességtartalom vagy szervesanyag-ellátottság – függvényében agresszívan terjedhetnek.

A zöldségtermesztés világszerte kiemelt szerepet játszik az élelmezésbiztonság és az egészséges táplálkozás megteremtésében. Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) adatai szerint a globális zöldségtermelés meghaladja az évi 1,1 milliárd tonnát, és folyamatosan növekszik a friss, vegyszermentes zöldségek iránti kereslet (FAO, 2021). A termelés intenzifikálásával párhuzamosan azonban számos agrárökológiai és fitopatológiai kihívás merül fel: a talajlakó kórokozók terjedése, a talaj termékenységének csökkenése, az öntözővíz korlátozott elérhetősége, valamint a klímaváltozás hatásai mind hozzájárulnak a termelési kockázatok növekedéséhez (Youssef Roupheal 2018).

Magyarországon a zöldségtermesztés jelentős múltú gazdasági ágazat, különösen az Alföld régióban, ahol a klimatikus és talajtani adottságok kedveznek a nagy volumenű hajtatott és szabadföldi termelésnek. Ugyanakkor a zárt, mesterséges körülmények között történő termesztés – például üvegházakban és fóliasátrakban – kedvez a nedves mikroklíma kialakulásának, amely ideális környezetet teremt a talajlakó kórokozók, például a *Rhizoctonia solani* és *Sclerotinia sclerotiorum* felszaporodásához (Chandra et al. 2022). E kórokozók jelenléte a gyökérszónában gyakran vezet gyökérrothadáshoz, hervadáshoz és szártövi pusztuláshoz, ami nemcsak a termés mennyiségét, hanem a minőségét is ronthatja. A védekezés a legtöbb esetben vegyszeres növényvédelmi kezeléssel valósul meg, azonban ezek alkalmazása a környezeti fenntarthatóság, a humánegészségügyi szempontok és az Európai Unió egyre szigorodó szabályozásai miatt az utóbbi években jelentősen korlátozottá vált. Mindez a termelőket arra ösztönzi, hogy alternatív, környezetbarát technológiákat alkalmazzanak, így a növényvédelmi innovációk egyik legígéretesebb irányát a biológiai védekezés jelenti.

Jelen vizsgálatom célja az volt, hogy feltérképezzem, a 100%-ban mosott juhgyapjából készült gyapjú pellet – mint innovatív, szerves eredetű talajjavító anyag – miként befolyásolja a *Trichoderma asperellum* (izolátum azonosító: NVIINVTT01) és két mezőgazdaságilag jelentős patogén gomba, a *Rhizoctonia solani* (izolátum azonosító: NVIINVTRs06), valamint a *Sclerotinia sclerotiorum* (izolátum azonosító: NVIINVTSsc14) közötti kölcsönhatásokat in vitro körülmények között. A kutatás alapját az a feltételezés képezte, hogy a gyapjú pellet – magas szervesanyag- és nitrogéntartalmánál fogva – módosíthatja mind az antagonista, mind a patogén gombák növekedését és interakcióit. A vizsgálat során a különböző gyapjú pellet-koncentrációk hatását elemeztem mind a növekedési ütemre, mind a gombatelepek közötti kompetitív viszonyokra nézve. További célom volt, hogy az in vitro körülmények között azonosítsam azokat a dózisokat és kombinációkat, amelyek elősegítik az antagonista gomba kolonizációját, valamint visszaszorítják a kórokozók térnyerését. A kapott eredmények hozzájárulhatnak a gyapjú pellet potenciális biostimuláns szerepének megértéséhez, valamint a fenntartható, környezetbarát növényvédelmi technológiák fejlesztéséhez, különösen az ökológiai zöldségtermesztésben és a körforgásos gazdálkodási rendszerek kialakításában.

2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Biostimulátorok

A 2019/1009/EU rendelet szerint a biostimulátor olyan anyag, amely tápanyagtartalmától függetlenül fokozza a növénytáplálást azzal a céllal, hogy javítsa a növény bizonyos tulajdonságait (tápanyag-felvétel, stressztűrés, termésminőség). A növényi biostimulátorok olyan készítmények, amelyeket a szakirodalomban biotrágyaként, talajjavítóként, fitostimulátorként vagy termésfokozóként is említenek, és amelyek célja a növények növekedésének, tápanyagfelvételének és stressztűrésének elősegítése (European Parliament, 2019). Ezeket elsősorban szaporítóanyagok kezelésére, különféle termesztő közegek (szubsztrátumok) javítására, valamint egyes esetekben levéltrágyaként, lombtrágyázási technikák részeként alkalmazzák. Ezek az anyagok egyre fontosabb szerepet töltenek be a fenntartható mezőgazdasági termelésben, mivel képesek javítani a növények fiziológiai hatékonyságát, stressztoleranciáját és tápanyag-felvételi képességét anélkül, hogy közvetlen tápanyagforrásként funkcionálnának (Jardin 2015). Roupheal és Colla (2020) áttekintő tanulmányukban kiemelik, hogy a biostimulánsok egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a modern mezőgazdaságban. Ezek az anyagok hozzájárulnak a növények tápanyag-hasznosulásának javításához, valamint fokozzák az abiotikus stresszekkel – például szárazsággal, sóterheléssel vagy hőmérsékleti ingadozásokkal – szembeni ellenálló képességet. Azt is hangsúlyozzák, hogy a növénykondicionálók alkalmazása különösen fontos az éghajlatváltozás és a fenntartható mezőgazdasági termelés iránti növekvő igények között. A kutatás rámutat, hogy a talajjavító biopreparátumok nem csupán kiegészítő szerepük van, hanem kulcsfontosságú eszközök a termésmennyiség és -minőség hosszú távú stabilizálásában. Ennek köszönhetően ezek a mikrobiális biotrágyák jelentős szerepet játszanak az intenzív mezőgazdasági rendszerek fenntartható átalakításában, különösen a globális élelmiszerellátás biztonságának hosszú távú fenntartásához szükséges feltételek megteremtésében (H.Brown et al. 2017). A fenntartható növénytermesztés alapját nemcsak ezek a hasznos mikroorganizmusokat tartalmazó készítmények alkalmazása, hanem a genetikai diverzitás megőrzése és bővítése egyaránt képezik.

2.1.1 Biostimulátorok jelentősége

A mezőgazdaságban évtizedek óta kereskedelmi forgalomban kaphatóak a biostimulátorok bizonyos formái, viszont felhasználásuk és népszerűségük az utóbbi években vált jelentősebbé.

Ezek az említett termésmnövelők vagy biológiai eredetű növényserkentők kulcsszerepet játszanak a talajminőség hosszútávú fenntartásában, a terméshozam növelésében, illetve a folyamatosan növekvő élelmiszerigények ellátásában. Számos növény-kondicionáló szer mikroorganizmusokon alapszik, ezért mikrobiális növényi biostimulátoroknak is nevezik őket. Ezek a mikroorganizmusok általában baktériumok, gombák vagy protiszták lehetnek, beleértve számos algafajt is. A vetőmagba vagy a talajba beoltva gyakran szisztémásan kolonizálják a rizoszférát és a növény belső szöveteit, miközben elősegítik a növény növekedését (Suiter & Scharf 2009).

A kereskedelmi forgalomban lévő fitostimulátorokban található mikroorganizmusok közül sokról kiderült, hogy növénystimuláló funkciójuk mellett rovarölő és/vagy rovarok elleni növényvédelmi tulajdonságokkal is rendelkeznek. Ezért hozzájárulnak a rovarkártévő-populációk biológiai kezeléséhez (Vasconcelos et al. 2021; Kiss et al. 2022). A közvetlen hatások közé tartozik így a kártevők elpusztítása vagy kártételük csökkentése, a közvetett hatások pedig a növény által az összetevőre adott élettani válaszokból adódnak, amelyek fokozzák a növény saját védekező mechanizmusait, ezáltal csökkentve a kártevők kártételét. Példa erre a *Rhizophagus* (syn. *Glomus*) *intraradices* gomba (*Glomerales: Glomeraceae*), amely egyrészt növeli a növények abiotikus stresszel szembeni toleranciáját, és ezáltal növeli a terméshozamot, például a paradicsomban (Shirazi, 2018). Ez vitákhoz vezet arról, hogy a regisztrált biostimulánsok kizárólag stimulánsok-e, vagy növényvédő tulajdonságokkal is rendelkeznek-e, mint a peszticidek (Kiss et al. 2022). Számos vizsgálat igazolta, hogy a humuszanyagok és talajjavító hatású készítmények egyaránt serkentik a gyökérfejlődést, és javítják a víz- és tápanyagfelvételt (Olivares & P. Canellas 2014). Kiemelt jelentőségük van abban, hogy mérséklék az éghajlatváltozásból eredő abiotikus stresszek – például aszály vagy sóstressz – negatív hatásait (Colla & Rouphael 2020). A mikrobiális biostimulánsok, köztük a *Trichoderma* fajok, emellett biokontroll-funkciót is betöltenek, hiszen közvetlenül és közvetetten gátolják a növényi kórokozók aktivitását (Lorito et al. 2014).

2.1.2 Mikrobiális biostimulátorok

Az mikrobiális biostimulátorok többféle hatásmechanizmuson keresztül járulnak hozzá a növények tápanyagellátásának és stressztűrő képességének javításához. Elsődleges szerepük a tápanyagok mobilizálása és a növényi tápanyag-hasznosítás hatékonyságának növelése. Számos baktérium – például az *Azotobacter* és *Azospirillum* nemzetségek képviselői – képesek a légköri nitrogén megkötésére, ezáltal közvetlenül növelve a növények nitrogénellátását

(Daoda 2019). Ezzel párhuzamosan a foszforoldó mikroorganizmusok – mint amilyeneket Laura Bononi (2020) is leírt – kulcsszerepet játszanak a talajban lekötött foszfor mobilizálásában, így javítva a növények foszforfelvételét és tápanyag-hasznosulását. Egyes mikroorganizmusok siderophorokat, azaz „vas-hordozó” molekulákat termelnek, amelyek elősegítik a vas felvételét, tovább támogatva a növények anyagcsere-folyamatait és egészséges fejlődését. Ez a mechanizmus különösen fontos lehet olyan természetesi rendszerekben, ahol a szerves anyagok – például a gyapjú pellet – elsősorban nitrogénforrásként szolgálnak. A biostimulátorok és a szerves eredetű tápanyagforrások együttes alkalmazása szinergikus hatást eredményezhet, amely egyszerre fedezi a növények nitrogén- és foszforigényét, javítja a tápanyag-hasznosulást, valamint növeli a kórokozókkal szembeni ellenálló képességet (Dong et al. 2024). A mikrobiális inokulánsok olyan élő mikroorganizmusokat tartalmazó készítmények, amelyek a növények növekedését és fejlődését serkentik, elsősorban a rizoszférában kifejtett aktivitásuk révén. Működésük nem a közvetlen tápanyagellátásra, hanem a növényi élettani folyamatok serkentésére és a növény–mikroba kölcsönhatások optimalizálására épül. E csoportba különféle talajbaktériumok, például a már említett *Azotobacter*, *Azospirillum* illetve a *Bacillus* és *Pseudomonas* fajok, a mikorrhiza gombák tartoznak.

2.2 Gyapjú pellet

A gyapjú pellet apróra őrölt és összepréselt juhgyapjúból készülő pellet, amelyet talajjavítóként vagy lassú tápanyag-feltáródású szerves trágyaként alkalmaznak. Magas szervesanyag- és tápanyagtartalma (különösen nitrogén-, kén-, szén- és fehérjetartalma) miatt a gyapjú pellet alkalmas a talaj fizikai szerkezetének és tápanyag-szolgáltató képességének javítására (Dal Prà et al. 2025). A szemcseméret (jellemzően 0,5–2 mm) és a tömör, homogén szerkezet elősegíti az egyenletes eloszlást és a fokozatos bomlást, amely a talajélet aktivitásától függően akár több hónapon keresztül biztosítja a tápanyagok folyamatos feltáródását. Bradshaw és Hagen (2022) szerint a gyapjú pellet életképes alternatívát jelenthet a kereskedelmi műtrágyák helyettesítésére a zöldségtermesztésben, mivel hasonló növekedési eredményeket és ásványi anyagfelvételt képes biztosítani. Kémiai összetételét tekintve, a gyapjú pellet átlagosan 9-1-2 NPK arányt mutat, emellett jelentős mennyiségben tartalmaz kalciumot, magnéziumot, vasat, kén és egyéb mikrotápanyagokat, amelyek a lebomlás során fokozatosan, növények által felvehető formában szabadulnak fel. A keratinfehérje magas kén tartalma és aminosav-összetétele különösen értékes, mivel a lebomlás során keletkező aminok, peptidek és

kéntartalmú vegyületek növelik a talaj kationcserélő kapacitását (CEC), ezáltal javítva a növények tápanyag-felvételét és a talaj pufferképességét (Veres 2025). A biológiai lebomlás természetes módon történik, a tápanyag-feltáródás lassú üteme pedig csökkenti a perzselés és a tápanyag-kimosódás kockázatát, így a pellet biztonságosan alkalmazható mind intenzív gazdálkodásban, mind biogazdaságokban. A gyapjú pellet fizikai tulajdonságai közül kiemelkedő a vízmegtartó képesség: vízzel érintkezve a szemcsék megduzzadnak, saját tömegük akár húszszorosát is képesek víz formájában megkötni. Egy 2024-ben végzett tanulmány eredményei alapján az alacsony szervesanyag-tartalmú talajokban a gyapjú pellet alkalmazása 2,18–2,34 mg/hét nitrifikációs aktivitás-növekedést eredményezett, ami a mikrobiális közösség stimulálására és a talajélet fokozására utal (Prà 2024). Ez a tulajdonság különösen előnyös homokos, alacsony vízmegtartó képességű talajok esetében, mivel mérsékli a kiszáradást és a párolgási veszteséget. Veres et al. (2022) által végzett vizsgálatok szerint a gyapjú pellet javítja a talaj vízháztartását és porozitását, ezáltal a gyökérszóna levegőzöttsége is kedvezőbbé válik, ami elősegíti a gyökértömeg növekedését és a növények stressztűrését. A lanolintartalom – a gyapjú természetes zsíros komponense – fizikai védelmet nyújt a pellet számára, mivel vízlepergető tulajdonsága lassítja a nedvességfelvételt és a bomlási folyamatokat, ezzel biztosítva a tápanyagok elnyújtott kioldódását (Mills 2024).

2.2.1 A gyapjú pellet szerepe a körforgásos gazdálkodásban

A gyapjú pellet környezeti jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy gyapjú, mint az állattenyésztés mellékterméke évente több ezer tonna mennyiségben keletkezik világszerte, amelynek jelentős része hulladékként végzi, mivel piacképtelen vagy alacsony minőségű (Gu et al. 2019). A pelletálás technológiája lehetőséget teremt arra, hogy ez a mezőgazdaságban immár melléktermékként megjelenő nyersanyag értékes inputként térjen vissza a természeti rendszerekbe. Így a gyapjú pellet a hulladékból hasznos, tápanyagban gazdag talajjavítóvá alakul, amely támogatja a környezetbarát tápanyag-gazdálkodást (Veres et al. 2025). Ezzel csökkenthető a hulladéklerakásból vagy égetésből fakadó környezeti terhelés, például az üvegházhatású gázok kibocsátása. A gyapjú újrahasznosítása összhangban áll az Európai Zöld Megállapodás (EU Green Deal) és az Európai Unió Körforgásos Gazdasági Akciótervének célkitűzéseivel, amelyek a mezőgazdasági melléktermékek fenntartható visszaforgatását, a tápanyag-körforgások zárását és az erőforrás-hatékonyság növelését támogatják. Ezen túlmenően, a gyapjú pellet talajba juttatása nem csupán a tápanyagutánpótlást segíti, hanem hosszú távon előmozdítja a szénmegkötést is, ezáltal csökkentve a mezőgazdasági

rendszerek karbonlábnyomát (Prà et al. 2024). A gyapjú pellet alkalmazása tehát elősegíti a mezőgazdasági melléktermékek fenntartható körforgását, és hozzájárul a talaj tápanyagtartalmának természetes úton történő visszapótlásához.

A gyapjú pellet előállítása a szintetikus műtrágyákhoz képest jóval kisebb energiafelhasználással és szén-dioxid-kibocsátással jár. Lebomlása során fokozatosan szabadítja fel a tápanyagokat, ezáltal mérséklődik a nitrát-kimosódás és az eutrofizáció kockázata, amely a hagyományos műtrágyák esetében komoly környezeti problémát jelent. (Jaroslav Lang 2022). Veres et al. (2025) kutatásainak eredménye kimutatta, hogy a pellet szervesanyag-tartalma növeli a talaj szénraktározó képességét, támogatja a humuszképződést, és hozzájárul a szénmegkötéshez, ezáltal mérsékli a klímaváltozást előidéző folyamatokat.

A gyapjú pellet nemcsak a növények számára szolgál lassan felszabaduló tápanyagforrásként, hanem jelentős mértékben serkenti a talaj mikrobiális aktivitását is. A gyapjú ugyanis egy természetes fehérjéje, a keratin, a lebomlás során aminokat, peptideket és kéntartalmú vegyületeket bocsát ki, amelyek kedvező szén- és nitrogénforrást biztosítanak a talaj mikroorganizmusainak, ezáltal élénkíti a talajéletet és fokozza a nitrifikációs aktivitást. Ez a mikrobiális dinamika elősegíti a tápanyagok körforgását, különösen a nitrogén- és kénforgalmat, amelyek kulcsszerepet játszanak a növények fejlődésében. (Bradshaw & Hagen, 2022; Prà et al. 2024). A Veres et al. (2025) által publikált eredmények szerint ezek a vegyületek serkentik a nitrifikációs és mineralizációs folyamatokat, valamint fokozzák a talaj mikrobiális légzését és tápanyagkörforgását. A mikrobiális közösség aktivitás növekedése nemcsak a tápanyag-hasznosulásra, hanem a talaj biológiai ellenálló képességére is pozitívan hat, mivel erősíti a patogénnel szembeni kompetíciós folyamatokat (Giovanna Franco 2024). A körforgásos gazdálkodás szempontjából a gyapjúpellet az állattartás és a növénytermesztés közötti anyagáramlás kiváló példája, amely elősegíti a tápanyagkörforgás hatékonyabbá tételét.

2.3 Kórokozók ismertetése

2.3.1 Sclerotinia sclerotiorum

A *Sclerotinia sclerotiorum* globális szinten jelentős növénypatogén, amely széles körben előfordul a mérsékelt égövi, trópusi és száraz régiókban (Mark Derbyshire 2017). Az általa okozott betegségeket több elnevezéssel is illetik, például fehérpenészes rothadás, vizes lágyrothadás, szárrothadás, virágfoltosság vagy koronarothadás (O'Sullivan et al. 2021). E megnevezések közül a „fehérpenész” a legelterjedtebb, amely leggyakrabban az *S. sclerotiorum* által kiváltott betegségekre utal. Ez a gombakórokozó kivételesen agresszív nekrotróf, amely

szinte minden növényi szövetet képes megfertőzni. (Liang & A. Rollins 2018). Széles gazdaspektrummal rendelkezik, mivel több mint száz egy- és kétszikű növényfajt fertőz, köztük gazdaságilag jelentős termesztett növényeket, dísznövényeket és gyomnövényeket egyaránt. Noha a szklerotínia elsősorban patogénként ismert, kutatások kimutatták, hogy képes endofitaként is megtelepedni bizonyos egyszikű növényekben, például rizsben (*Oryza sativa*), búzában (*Triticum aestivum*), kukoricában (*Zea mays*), árpában (*Hordeum vulgare*) és zabban (*Avena sativa*) is (Binnian Tian 2020). A *S. sclerotiorum* okozta fertőzések súlyos gazdasági károkat idézhetnek elő. A *Sclerotinia sclerotiorum* szkleróciumai a talajban telelnek át, majd kedvező körülmények között (10–20 °C, magas páratartalom) apotéciumokat fejlesztenek. Az apotéciumokból kiszabaduló aszkospórák sebzéseken vagy virágrészekon keresztül fertőzik a növényt. A gomba oxálsavat és sejtfalbontó enzimeket termel, melyek a növényi szövetek elhalását okozzák. A fertőzött növényi részekon sűrű fehér micéliumbevonat és új szkleróciumok képződnek, amelyek a talajba jutva biztosítják a kórokozó hosszú távú fennmaradását (Mostofa et al. 2023). A fertőzött zöldségek gyakran piacképtelenné válnak, míg a gabona- és olajos magvak esetében a termés súlyában, számában és minőségében bekövetkező veszteségek csökkentik a piaci értéket. A kártétel mértéke jelentősen eltér a földrajzi területek és termesztett növények között. A fertőzések elleni védekezést nehezíti, hogy a gazdanövények többsége nem rendelkezik hatékony rezisztenciával, miközben a gomba rendkívül széles gazdaspektrummal rendelkezik, és a kezelés gyakran komoly kihívást jelent. A szklerotínia, mint agresszív nekrotróf kórokozó, a gazdanövény szöveteiben programozott sejthalált idéz elő. A gomba által termelt enzimek, például az endo- és exo-pektinázok, cellulázok, hemicellulázok és proteázok hatékonyan bontják le a gazdaszervezet sejtfalát, elősegítve a kolonizációt. A patogenitás fő tényezői közé tartozik továbbá az oxálsavtermelés, amely savasítja a gazdaszövetet, elősegíti a sejtfal-degradáló enzimek aktivitását, és támogatja a fertőzés előrehaladását (Yong et al. 2015). A fertőzés során hatékony védekezési módszerek hiányában a termésveszteség elérheti a 30–60%-ot is. Emellett a gomba által szekretált patogén fehérjék, úgynevezett effektorok, szintén meghatározó tényezők a fertőzési folyamat során. Az *S. sclerotiorum* fertőzési mechanizmusainak és patogenezisének megértése az utóbbi évek kutatásainak kiemelt területe lett (Mostofa et al. 2023).

2.3.2 Rhizoctonia solani

A *Rhizoctonia solani* világszerte elterjedt talajlakó gombafaj, amely jelentős kockázatot jelent számos gazdaságilag fontos növényre, különösen gabona- és takarmánynövényekre.

A *Rhizoctonia* nemzetséget először Augustin Pyramus De Candolle vezette be 1815-ben, amikor egy ismeretlen gombát azonosított, amely növényeket, például lucernát (*Medicago sativa*) és sáfrányt (*Crocus sativus*) támadott meg (De Candolle 1815). A *Rhizoctonia solani*-t azonban először Kühn írta le 1858-ban. Ez a gomba nekrotróf és szaprofita kórokozóként viselkedik, amely képes gazdanövény hiányában is hosszú ideig fennmaradni a talajban és a növényi maradványokban. A *Rhizoctonia solani* a talajban micélium vagy szklerócium formájában képes túlélni, kedvező feltételek (20–28 °C, magas páratartalom) esetén pedig a gyökérnyak és hipokotil fertőzésével indítja fejlődését. A gomba a növény epidermiszén áthatolva sejtfalbontó enzimekkel (cellulázok, pektinázok) nekrotikus elváltozásokat okoz. A fertőzött szövetekben hipokotil-rothadás és palántadőlés (damping-off) figyelhető meg. A növény elpusztulása után a kórokozó újabb szkleróciumokat képez, amelyek a talajban hosszú ideig életképesek maradnak, fenntartva ezzel a fertőzési ciklust (Chandra et al. 2022). A *R. solani* hozzávetőlegesen 250 gazdanövényfajt képes megfertőzni, amelyek többek között a következő családokba tartoznak: *Moraceae*, *Poaceae*, *Solanaceae*, *Linaceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Amaranthaceae*, *Rubiaceae*, *Asteraceae* és *Araceae* (Manoranjan Senapati, 2022). Ez a gomba jelentős károkat és hozamvesztéseket okoz számos gazdaságilag fontos növénykultúrában, például például szójában (*Glycine max*), rizsben (*Oryza sativa*), burgonyában (*Solanum tuberosum*), cukorrépában (*Beta vulgaris*), búzában (*Triticum aestivum*) és csicseriborsóban (*Cicer arietinum*). A *Rhizoctonia solani* egy fajkomplexum, amely több, egymással rokon, de genetikailag elkülönülő izolátumcsoportot foglal magában, és 14 anasztomózis-csoportra (AG) osztható. (Dolores Gónzalez 2016). Az AG-2 különösen változatos, és több alcsoportot foglal magában, például AG-2-1, AG-2-2 IIIB, AG-2-2 IV, AG-2-2 LP, AG-2-2 WB, AG-2-3, AG-2-4 és AG-2-B1. Azonban az AG-1, AG-2, AG-3, AG-4 és AG-5 csoportok különösen gyakran fordulnak elő hüvelyes növényekből izolálva. Ezek a betegségek jelentős gazdasági veszteségeket idézhetnek elő, különösen kedvező környezeti feltételek – például magas (>80%) relatív páratartalom és 22–28 °C közötti hőmérséklet – esetén. (Senapati et al. 2022).

2.4 *Trichoderma asperellum*

A *Trichoderma* nemzetség fonalas gombái közül a *Trichoderma asperellum* különösen jelentős faj, amely biokontroll- és biostimuláns-szervezetként világszerte elterjedt. Széles körben vizsgálják és alkalmazzák a növény–talaj–mikroba kölcsönhatások erősítésére és a növények egészségének javítására. A faj jellemzője a gyors növekedés, a rizoszférában való hatékony

kolonizáció, valamint az a képesség, hogy különböző mechanizmusokon keresztül segítse a növények fejlődését és védekezését (Jian Fu 2021). A *Trichoderma asperellum* képes versengeni a patogén gombákkal a tápanyagokért és a térért, miközben sejtfalbontó enzimeket – például kitinázt, β -1,3-glükánázt, proteázt és cellulázt termel, amelyek a növényi kórokozók sejtfalát bontják, ezáltal gátolják azok növekedését és kolonizációját (Elghaffar et al. 2023). Ezen túlmenően illékony és nem illékony metabolitokat is előállít, amelyek gátolják a patogén gombák növekedését, valamint serkentik a növények gyökérfejlődését és tápanyagfelvételét. A faj biostimuláló hatásai több fiziológiai és molekuláris folyamatban is jelen vannak. A *T. asperellum* képes indol-ecetsav (IAA) és gibberellin típusú növényi hormonokat termelni, amelyek közvetlenül elősegítik a növényi sejtek megnyúlását és osztódását. Emellett foszfátoldó képességgel is rendelkezik, ami növeli a növények számára hozzáférhető foszfor mennyiségét a talajban. A rizoszférában történő kolonizáció során a *T. asperellum* nemcsak a növények tápanyag-ellátottságát javítja, hanem aktiválja a növény szisztémikus rezisztenciáját (ISR), amely a növényi immunrendszer nem specifikus, de tartósan fennmaradó védelmi mechanizmusa (Badaluddin & A. Zin 2020). A trichoderma alkalmazása emellett a stressztűrő képesség növelésében is szerepet játszik: só- és szárazságstressz esetén a gomba antioxidáns enzimeket (pl. peroxidáz, szuperoxid-dizmutáz, kataláz) indukál, amelyek védelmet nyújtanak az oxidatív károsodással szemben. Ezek a tulajdonságok együttesen teszik a *Trichoderma asperellum*-ot olyan komplex biostimulánssá, amely egyszerre képes javítani a növények tápanyag-hasznosítását, növekedését és kórokozókkal szembeni ellenálló képességét (Harman et al. 2004; Vinale et al. 2008).

2.4.1 Trichoderma asperellum – mechanizmusai és mezőgazdasági szerepe

A *Trichoderma asperellum* egy talajban élő, gyors növekedésű, szaprofita gombafaj, amelyet széles körben alkalmaznak a biológiai növényvédelemben, biostimulánsként is. A *T. asperellum* számos növénypatogén gombával szemben bizonyítottan hatékony antagonista szervezet; többek között gátolja a *Sclerotinia sclerotiorum*, a *Rhizoctonia solani*, a *Fusarium oxysporum* és a *Macrophomina phaseolina* fejlődését (Badaluddin & Zin 2020). A *Trichoderma asperellum* hatásmechanizmusai több, egymással párhuzamosan zajló folyamaton alapulnak, amelyek együttesen eredményezik a kórokozók visszaszorítását és a növények növekedésének serkentését. Az egyik legfontosabb mechanizmus a mikoparazitizmus, amely során a gomba felismeri, majd közvetlenül megtámadja a kórokozó hifáit (Kredics et al. 2018). Ehhez adhéziós struktúrákat képez, és különféle hidrolitikus

enzimeket – például kitinázokat, β -glükánázokat és proteázokat – szabadít fel, amelyek lebontják a patogén sejtfalát, ezáltal elpusztítva a patogén sejteket (Hoang Loc et al. 2019; Ji et al. 2023). A másik jelentős védekezési forma az antibiózis, amely során a *T. asperellum* különböző másodlagos anyagcseretermékeket (metabolitokat) állít elő, amelyek gátolják a kórokozó gombák életfolyamatait. Ezek közé tartoznak rövid peptid jellegű anyagok és különböző illékony szerves vegyületek, amelyek csökkentik a patogének növekedését, spóráképződését, és a növény védekező reakcióit is kedvezően befolyásolják (Vinale et al. 2008). A *T. asperellum* tápanyag- és térbeli konkurenciával is csökkenti a kórokozók aktivitását: gyors kolonizációs képességének köszönhetően hamar benépesíti a rizoszférát, ezáltal kiszorítja a patogéneket a gyökérfelületről (Hermosa et al. 2012). Amikor a növény felismeri a *Trichoderma* jelenlétét, különböző jelátviteli útvonalak – többek között a szalicilsav-, jázmonsav- és etilén-alapú rendszerek – aktiválódnak. Ezek a folyamatok erősítik a növény természetes védekező mechanizmusait, így ellenállóbbá válik a kórokozókkal és a környezeti stresszel szemben (Shoresh et al. 2010). A biokontroll-hatások mellett a *T. asperellum* jelentős növekedésserkentő tulajdonságokkal is rendelkezik. Elősegíti a gyökérnövekedést, fokozza a tápanyagok – különösen a nitrogén, foszfor és vas – felvételét, valamint növeli a növény abiotikus stressztűrését (Scudeletti et al. 2021). A faj több kereskedelmi biológiai készítmény (pl. *Triatum-P*, *Tricho Immun*) hatóanyaga. Különösen előnyös szerves talajjavító anyagokkal (pl. komposzt, gyapjú pellet) kombinálni, mivel ezek fokozzák a kolonizációs képességet és a tartós hatékonyságot a talajban (Zin & Badaluddin 2020).

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatás során két kísérletípust alkalmaztunk:

- (i) single-kultúrák lineáris növekedésvizsgálatot, valamint
- (ii) (ii) kettős tenyésztés (dual-kultúrák) elrendezést, ahol *Trichoderma asperellum* és a patogének kölcsönhatását értékeltük a különböző gyapjúdózisok mellett.

3.1 Vizsgált mikroorganizmusok

A vizsgálatok során három talajlakó gombafaj növekedési viselkedését és kölcsönhatását vizsgáltuk különböző gyapjú pellet-koncentrációjú táptalajokon: két növénykórokozó (nekrotrof) fajt és egy antagonista, biológiai védekezésre alkalmas endofita fajt.

- **Antagonista faj:**

- *Trichoderma asperellum* (izolátum azonosító: NVIINVTT01)

- **Patogén fajok:**

- *Sclerotinia sclerotiorum* (izolátum azonosító: NVIINVTSc14)

- *Rhizoctonia solani* (izolátum azonosító: NVIINVTRs06)

A *T. asperellum* és *S. sclerotiorum* törzsek a MATE Növényvédelmi Intézet Integrált Növényvédelmi Tanszékének törzsgyűjteményéből származtak, míg a *Rhizoctonia solani* növénykórokozót frissen izolálták természetes körülmények között fertőződött burgonyagumóról. A törzsek kiválasztását mezőgazdasági jelentőségük, gyors növekedési dinamikájuk és hazai előfordulásuk indokolta.

3.2 Táptalajok és a gyapjú pellet

A laboratóriumi kísérletek során különböző tápközegeket alkalmaztunk, amelyek célja a patogén és antagonista gombák növekedési viselkedésének vizsgálata volt, standard és módosított feltételek mellett. A vizsgálatokhoz a burgonya-dextróz agar (PDA) szolgált alapként, amelyet különféle koncentrációban kevertünk össze mosott juhgyapjúból készült pellettel a gyapjú mikrobiális hatásának feltárása céljából.



1. ábra: PDA (Potato Dextrose Agar) 500g kiszerelésben

3.2.1 PDA táptalaj - alapközeg

A PDA (Potato Dextrose Agar) a mikológiai laboratóriumokban általánosan alkalmazott, szénhidrátban gazdag táptalaj, amely ideális a legtöbb gombafaj szaporodásához és kolóniafejlődéséhez. Előnye, hogy egyszerűen elkészíthető, konzisztens összetételű és széles körben elérhető. A PDA-t a gyártó utasításainak megfelelően készítettük el: 39 g PDA port literenként desztillált vízben oldottunk fel, majd autoklávban 121°C-on, 20 percig sterilizáltuk. A sterilizálás célja nemcsak a mikrobiológiai tisztaság biztosítása volt, hanem a tápközeg fizikai stabilitásának (gélképződés, pH) garantálása is. A lehűlt táptalajt előzetesen sterilizált Petri-csészékbe (Avantor code 391-0699) adagoltuk (20 ml/csésze), majd szobahőmérsékleten szilárdítottuk (1. ábra).

3.2.2 Gyapjú pellet

A vizsgálat során alkalmazott gyapjú pellet 100%-ban természetes eredetű, nyers, mosatlan juhgyapjúból készült, amelyet napsütésben szárítottak, majd 4–6 mm-es darabokra aprítottak. A kísérlethez a pelletált gyapjút az Agrologica Kft. biztosította számunkra. Tekintettel arra, hogy a gyapjú állati eredetű anyag, különösen fontos volt a szennyező mikrobák inaktiválása a kísérletek torzulásának elkerülése érdekében (Camilli et al. 2025).



2. *ábra*: gyapjú pellet az Agrologica Kft. jóvoltából

3.2.3 Gyapjúval dúsított táptalajok (gyapjú-PDA keverékek)

Három különböző koncentrációjú gyapjú táptalajt készítettünk, amelyek 0,5 gramm, 1,0 gramm és 2,0 gramm gyapjú pelletet tartalmaztak 100 ml PDA oldatra vonatkoztatva, azaz 0,5%, 1% és 2% (w/v) tömeg/térfogat arányban. A gyapjú pellet hozzáadását követően az elegyet egy botmixer segítségével homogenizáltuk. Az előbb említett koncentrációk lehetővé tették a gyapjú mennyiségének hatásvizsgálatát, különösen a gombák radiális növekedésének és antagonista aktivitásának szempontjából.



3. *ábra*: Autoklávozás folyamatának szemléltetése

3.2.4 Sterilizálás

A szerves adalék (gyapjú) perzisztens mikrobiális szennyeződésének kizárása érdekében frakcionált sterilizálási eljárást alkalmaztunk: a táptalajt 20 percen keresztül 121 °C-on autoklávoztuk, a ciklusok között a közeget szobahőmérsékleten hagytuk állni. Az alap PDA-táptalajt, mely kontrollként szolgált a kísérletben, gyapjú hozzáadása nélkül standard eljárás szerint készítettünk el és ugyanezzel a protokollal került sterilizálásra, hogy a hőkezelés hatása minden közegben azonos legyen, majd steril körülmények között lamináris fülkében adagoltunk.

3.2.5 Petri-csészék előkészítése

A PDA-táptalajt és a három gyapjúkoncentrációt steril, 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe (Avantor code 391-0699) öntöttünk, 20 mL/csésze mennyiségben.

Kezelések:

- PDA kontroll (gyapjú nélkül),
- gyapjú –PDA 0,5 g/100 mL,
- gyapjú –PDA 1,0 g/100 mL,
- gyapjú –PDA 2,0 g/100 mL.

A csészéket lamináris fülke alatt készítettük, és szilárdulás után azonnal felhasználtuk vagy 24 órán belül beoltottuk. A gyapjútartalmú táptalajok már fizikai megjelenésükben is különböztek a standard PDA-tól. A magasabb gyapjúkoncentrációjú táptalaj enyhén rostosabb, sárgás-barnás árnyalatú volt, ami az oldott szerves komponensek jelenlétére utalt. A szilárdság és az agar szövetszerkezete enyhén lazább állagot mutatott a kontrollhoz képest, ami a micéliumok kolonizációs dinamikájára is hatással lehetett.



4. ábra: Petricsészék feltöltése steril fülkében

3.3 Telepnövekedés vizsgálata

A vizsgálatban négy gombafaj szerepelt: *Trichoderma asperellum* (antagonista), illetve a patogének: *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*. Mindegyikből jól fejlett, tiszta tenyészetből vettünk 1,3 mm átmérőjű micéliumkorongot, lánggal sterilizált dugóhúzóval (cork borer). A korongokat a táptalajlemez geometriai középpontjába oltottunk, (4 ismétlésben) lineáris növényvizsgálattal. A PDA és a három gyapjú–PDA kezelés (0,5; 1,0; 2,0 g/100 ml) mindegyikére az adott fajból egy-egy 1,3 mm-es

micélium dugót oltottunk a középpontba. Kezelésenként négy ismétlést ($n = 4$) alkalmaztunk. A tenyészeteket 25 ± 1 °C-on, sötétben inkubáltuk, hogy kiküszöböljük a fény hatását a micéliumnövekedésre. A gombatelepek radiális növekedését naponta egyszer mértük négy egymást követő napon keresztül. Minden telepről két, egymásra merőleges átmérőt rögzítettünk, majd azok átlagát tekintettük az adott napi kolóniaátmérőnek. A méréseket mindaddig folytattuk, amíg a telepek el nem érték a Petri-csésze szélét, amelyre a negyedik inkubációs napra minden esetben sor került.

3.4 Antagonista hatás vizsgálata kettős tenyészetben

Az antagonista kölcsönhatások értékeléséhez a PDA-táptalajt három különböző gyapjúkoncentrációval egészítettük ki (0,5 g, 1,0 g és 2,0 g gyapjú pellet / 100 ml közeg), az előző fejezetben leírt módon. A kísérlet során a *Trichoderma asperellum* antagonista gombát és a vizsgált patogéneket (*Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*) kettős tenyészetben helyeztük el. Minden Petri-csészébe (Avantor, kód: 391-0699) két, 1,3 cm átmérőjű micéliumkorongot oltottunk: az egyiket az antagonista, a másikat a kórokozó telep széléről vettük. A korongokat a csésze ellentétes oldalaira helyeztük el, 1 cm távolságra a peremtől, hogy biztosítsuk a későbbi találkozásukhoz szükséges növekedési teret. A kórokozó–antagonista párosításokat négy ismétlésben ($n = 4$) állítottuk be kezelésenként. Az inokulált lemezeket 25 ± 1 °C-on, sötétben inkubáltuk. A kolóniák radiális növekedését naponta követtük nyomon a 4. napig, minden csészén két egymásra merőleges átmérő mérése alapján, az értékek átlagát véve. Az antagonista hatás mértékét a 4. napon mért telepátmérők összevetésével határoztuk meg.

3.5 Statisztikai elemzés

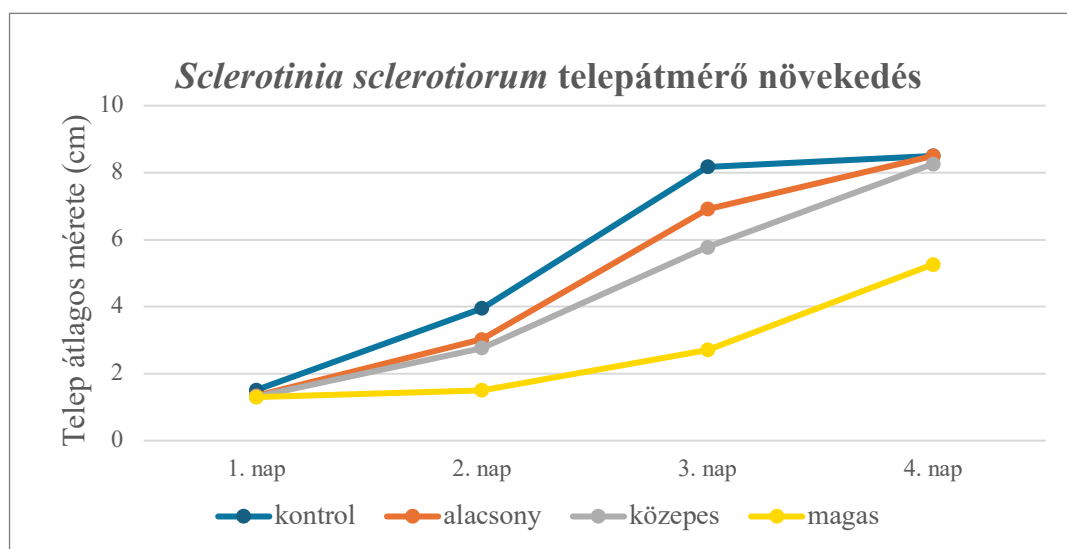
Az adatok elsődleges rögzítése Microsoft Excel programban történt, majd az így előkészített adatbázist R programba importáltuk a statisztikai elemzések elvégzéséhez. A mért értékek eloszlásának normalitását Shapiro–Wilk-próbával, valamint QQ-ábrák vizuális értékelésével ellenőriztük. Amennyiben a minták nem tértek el szignifikánsan a normális eloszlástól ($p > 0,05$), a varianciák homogenitását is megvizsgáltuk Levene-teszttel. A normalitás és homoszkedaszticitás feltételeinek teljesülése esetén a kezelések közötti különbségek értékelésére kétmintás Student-féle t -próbát alkalmaztunk. Abban az esetben, ha az adatok nem feleltek meg a normalitásnak, a nemparaméteres páros Wilcoxon-előjeles rangpróbát végeztünk. A szignifikancia-szint minden vizsgálatban $\alpha = 0,05$ volt.

4 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1 Telepnövekedés vizsgálata

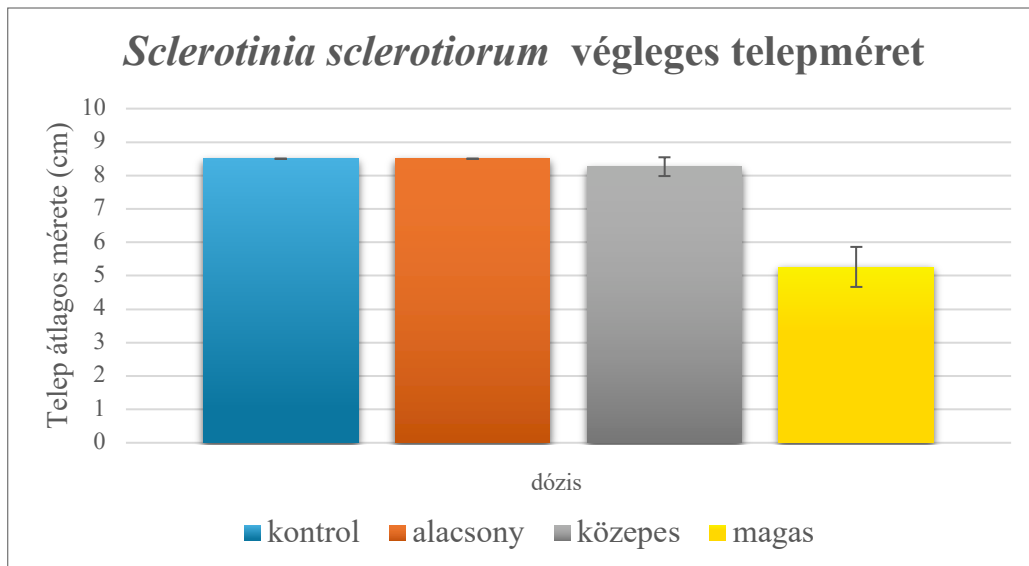
4.1.1 Sclerotinia sclerotiorum

A vizsgálat teljes, négy napos periódusának adatai alapján megállapítható, hogy a *S. sclerotiorum* esetében a kontroll és a gyapjúval kezelt telepek között szignifikáns különbség mutatkozott (kontrol – alacsony: $p=0,014$; kontrol – közepes: $p=0,002$; kontrol – magas: $p<0,001$). Az alacsony dózisu kezelésben a *S. sclerotiorum* telepek szignifikánsan nagyobbak voltak a közepes és magas dózisu kezelésekhöz képest (alacsony – közepes: $p=0,013$; alacsony – magas: $p<0,001$). Emellett a magas gyapjúdózissal kezelt Petri-csészékben a gombatelep mérete szignifikánsan kisebb volt a közepes dózishoz viszonyítva (közepes – magas: $p=0,002$). A kísérlet teljes időtartama alatt a magas gyapjúkoncentrációval kezelt *S. sclerotiorum* telepek következetesen kisebbek maradtak, mint a többi kezelés esetében (5. ábra).



5. ábra: A *Sclerotinia sclerotiorum* telepátmérőjének növekedési dinamikája a négy napos vizsgálati időszak alatt, különböző kezelésekre (kontrol: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

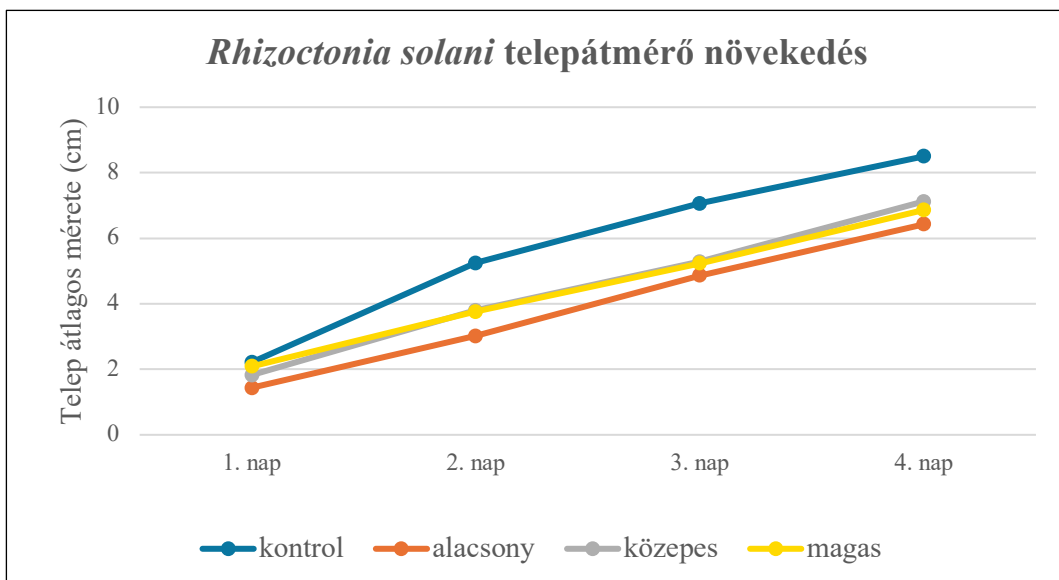
Bár a negyedik napi adatok önmagukban vizsgálva nem mutattak statisztikailag szignifikáns különbséget a kezelésekre között, a tendenciák alapján megfigyelhető volt, hogy a legkisebb gombatelep a magas gyapjúdózisu kezelésben alakult ki (magas koncentráció: $5,26 \pm 0,05$ mm; kontrol: $8,50 \pm 0,00$ mm) (6. ábra).



6. ábra: A *Sclerotinia sclerotiorum* végleges telepmérete a kísérlet 4. napján, az egyes kezelések összehasonlításában (kontroll: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

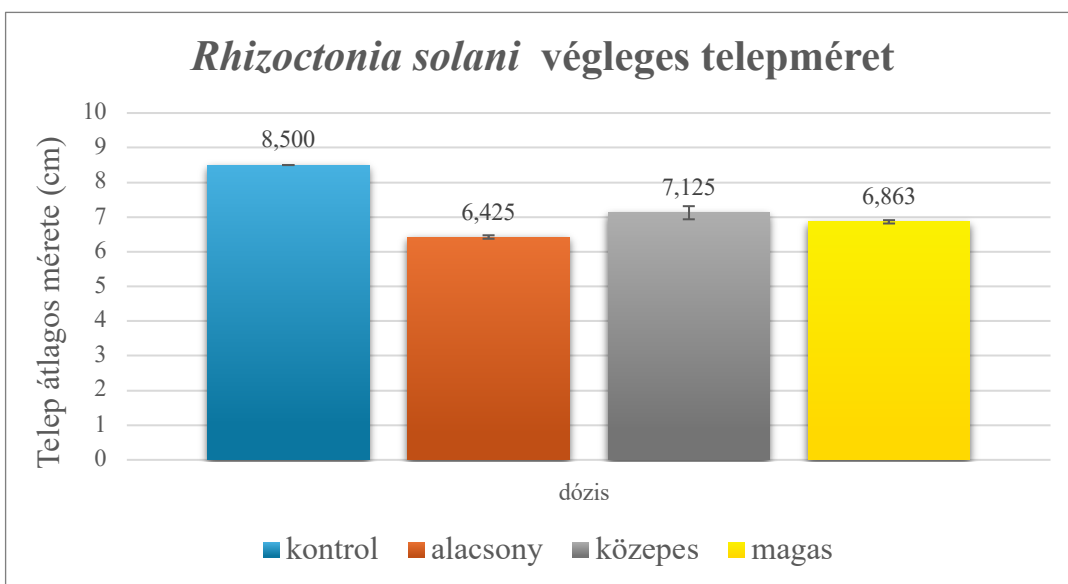
4.1.2 *Rhizoctonia solani*

A *Rhizoctonia solani* kórokozóval végzett kísérlet során a kontroll kezelés szignifikánsan eltért a gyapjúval kezelt minták telepméretétől (kontroll – alacsony; közepes; magas: $p < 0,001$). Az alacsony gyapjúkoncentrációval beállított kezelésben a kolóniák növekedése szignifikánsan kisebb mértékű volt a közepes és a magas dózisu kezelésekhöz viszonyítva ($p < 0,001$). A közepes és magas koncentrációjú kezelések között ugyanakkor nem mutatkozott statisztikailag igazolható különbség. A négy napos megfigyelési időszak alatt a gyapjúval kezelt *R. solani* telepek növekedési dinamikája hasonló tendenciát mutatott (7. ábra).



7. ábra: A *Rhizoctonia solani* telepátmérőjének növekedési dinamikája a négy napos vizsgálati időszak alatt, különböző kezelések hatására (kontroll: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

A negyedik nap adatai alapján sem volt szignifikáns különbség a kezelések között, azonban megállapítható, hogy a gyapjúval kezelt táptalajokon a *R. solani* telepei kisebb méretűek maradtak, mint a kontrollmintákban (Alacsony konc.: 6.425 ± 0.05 mm; Kontroll: 8.50 ± 0.00 mm) (8. ábra).



8. ábra: A *Rhizoctonia solani* végleges telep mérete a kísérlet 4. napján, az egyes kezelések összehasonlításában (kontroll: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

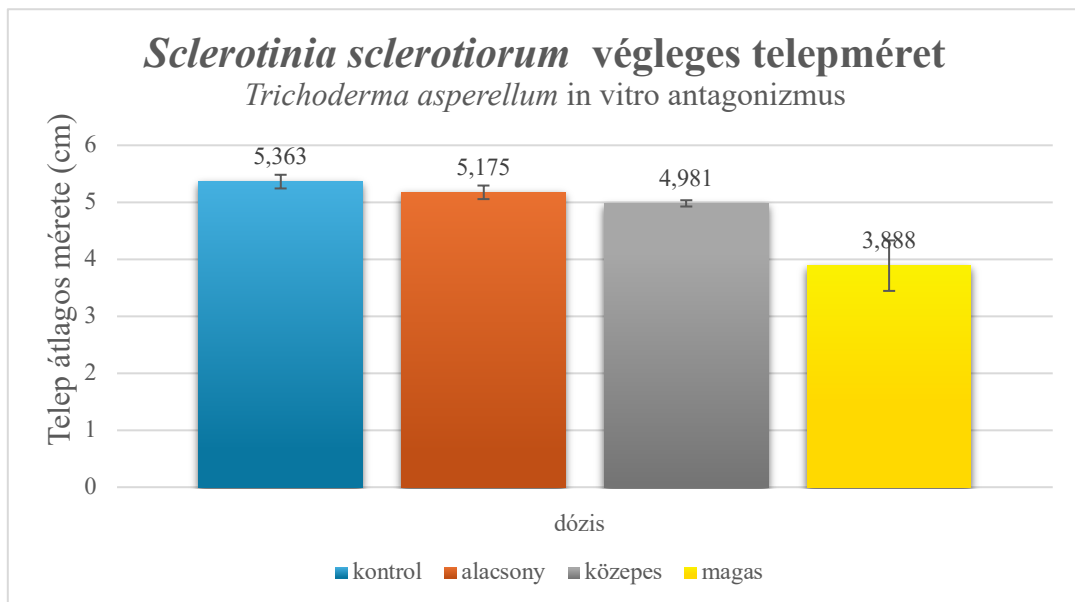
4.1.3 *Trichoderma asperellum*

A négy napos vizsgálat során arra a megállapításra jutottunk, hogy a gyapjú jelenléte szignifikánsan visszafogta a *Trichoderma asperellum* növekedését ($p=0,004$). A gombatelep méretének csökkenése arányosan követte a gyapjú pellet dózisének növelését, vagyis a nagyobb koncentrációjú kezelések esetében kisebb kolóniaméret volt megfigyelhető (Magas konc.: 5.66 ± 0.05 mm; Kontroll: 6.29 ± 0.00 mm).

4.2 Antagonista aktivitás vizsgálata kettős tenyésztetben

4.2.1 *Sclerotinia sclerotiorum* és *Trichoderma asperellum*

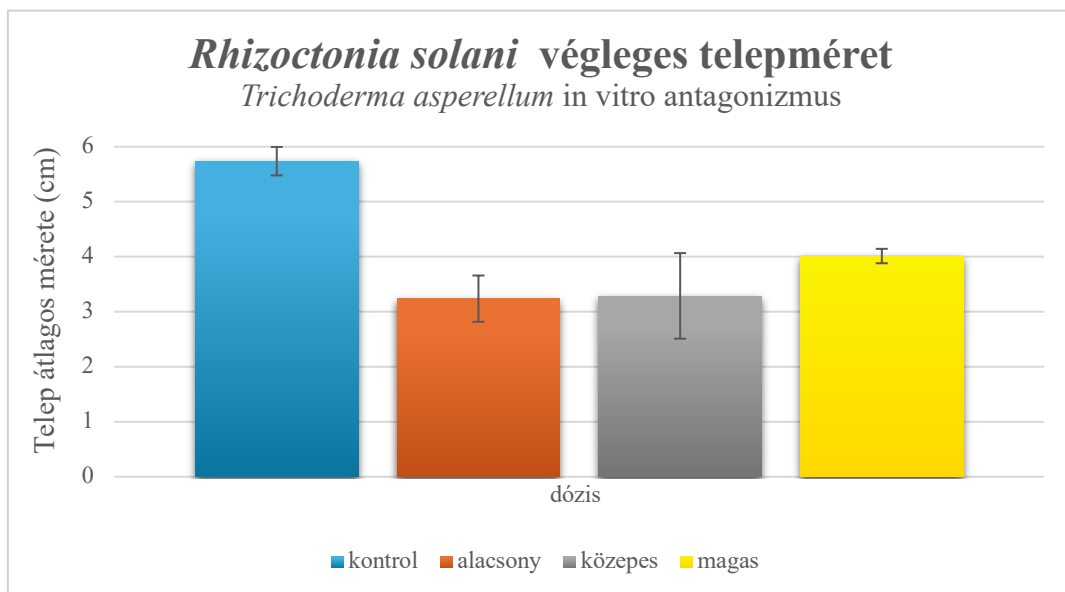
A kísérlet eredményei alapján a *Sclerotinia sclerotiorum* telepátmérője a kontroll kezelésben érte el a legnagyobb értéket, amely szignifikánsan eltért minden gyapjúval kezelt változattól (kontroll – alacsony: $p=0,001$; kontroll – közepes: $p=0,008$; kontroll – magas: $p=0,011$). Az alacsony gyapjúkoncentrációval beállított kezelésben a kórokozó telepe nagyobb méretet ért el, mint a magas dózisú kezelésben ($p=0,015$). Emellett a közepes dózisú gyapjúkezelésben is szignifikánsan nagyobb telep méretet figyeltünk meg a magas koncentrációhoz viszonyítva ($p=0,021$). A legkisebb kolóniaméret a magas gyapjúkoncentrációval kezelt mintákban volt megfigyelhető (Magas konc.: 3.88 ± 0.05 mm; Kontroll: 8.50 ± 0.00 mm) (9. ábra).



9. ábra: A *Sclerotinia sclerotiorum* végleges telep mérete a kísérlet 4. napján, az egyes kezelések összehasonlításában, *Trichoderma asperellum*-mal végzett kettős tenyésztetben (kontroll: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

4.2.2 *Rhizoctonia solani* és *Trichoderma asperellum*

A *Rhizoctonia solani* telepnövekedésének vizsgálata során egyértelműen kimutatható különbségek jelentkeztek az egyes kezelések között. A kontroll mintákban a gombatelep átmérője szignifikánsan nagyobb volt, mint a gyapjúval kezelt táptalajokon (kontroll – alacsony: $p=0,005$; kontroll – közepes: $p=0,006$; kontroll – magas: $p=0,002$). Az alacsony és közepes, valamint a közepes és magas gyapjúkoncentrációjú kezelések között nem mutatkozott szignifikáns eltérés, ugyanakkor az alacsony és magas koncentrációjú kezelések között már igazolható különbséget tapasztaltunk ($p=0,042$). A legkisebb telepméretet a magas gyapjúkoncentráció mellett mértük (Alacsony: 3.24 ± 0.05 mm; Kontroll: 8.50 ± 0.00 mm) (10. ábra).



10. ábra: A *Rhizoctonia solani* végleges telepmérete a kísérlet 4. napján, az egyes kezelések összehasonlításában, *Trichoderma asperellum*-mal végzett kettős tenyésztésben (kontroll: gyapjúmentes PDA; alacsony: 0,5 g gyapjúval kezelt PDA; közepes: 1,0 g gyapjúval kezelt PDA; magas: 2,0 g gyapjúval kezelt PDA).

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1 Telepnövekedés vizsgálata

A vizsgálati eredményei alapján megállapítottuk, hogy a gyapjú pellet alkalmazása gátolta mind a *Sclerotinia sclerotiorum*, mind a *Rhizoctonia solani* növekedését. A szklerotínia esetében ez a gátló hatás a gyapjúkoncentráció növekedésével párhuzamosan erősödött, amiből egyértelmű dózis-válasz kapcsolatra következtethetünk. A legnagyobb gyapjúmennyiséggel (2.0 g) beállított kezelés során mértük a legkisebb átlagos telepátmérőt. Ez arra utal, hogy a gyapjú közvetlenül is fejthet ki gombanövekedést gátló hatást, illetve az is feltételezhető, hogy a jelenség háttérében a tápanyagokért folytatott kompetíció áll, amely a nagyobb gyapjúmennyiség jelenlétében felerősödik. Hasonló eredményekről korábbi kutatások is beszámoltak: megfigyelték például, hogy más természetes eredetű anyagok, mint például az istállótrágya, szintén jelentősen csökkenthetik a *S. sclerotiorum* micéliumnövekedését (Asirifi, Morgan, & Parbery, 1994).

A *Rhizoctonia solani* esetében ezzel szemben eltérő tendenciát figyelhettünk meg: a legerőteljesebb növekedésgátlás az alacsony gyapjúkoncentráció mellett jelentkezett. Ez a nemlineáris válasz arra utal, hogy a mechanizmus nem pusztán a tápanyaghoz való hozzáférése alapján alapul. Feltételezhető, hogy alacsony dózisban olyan, a gyapjúból származó vegyületek – például rövid szénláncú peptidok, aminosav-fragmentumok vagy nyomelemek – vannak jelen olyan mennyiségben, amelyek közvetlenül gátolják a kórokozót. Magasabb koncentrációk esetén ezek a vegyületek már metabolizálódhatnak a kórokozó vagy más mikroorganizmusok által, illetve a bőségesebb tápanyagellátás részben ellensúlyozhatja a gátló hatást, ezáltal lehetővé téve a nagyobb telep méret kialakulását. Ugyanakkor az elnyomó hatás összhangban áll más kutatásokkal, amelyek rámutattak arra, hogy a keratinban és kitinben gazdag szubsztrátumok csökkenthetik a *Rhizoctonia* által okozott betegségek előfordulását. (Andreo-Jimenez et al. 2021).

A vizsgálat eredményei arra engednek következtetni, hogy a gyapjú alkalmazása oly módon befolyásolja a mikrobiális kölcsönhatásokat, hogy azok a kórokozó gombák számára kedvezőtlenül hatnak, ugyanakkor a hatás iránya és intenzitása a gyapjú mennyiségétől, illetve a gomba típusától is függ.

5.2 Antagonista hatás vizsgálata kettős tenyésztésben

A *Trichoderma* spp. hatékony biokontroll-ágensként ismert, amely képes visszaszorítani többek között a *Sclerotinia* és *Rhizoctonia* nemzetségbe tartozó kórokozókat. A gombák elleni

hatása összetett, mivel magában foglalja a tápanyagokért folytatott versengést, a mikoparazitizmust, valamint a szisztémikus rezisztencia indukálását; ezek együttesen eredményezik a kórokozók növekedésének gátlását (Benítez et al. 2004).

Kísérletünk során azt is megfigyeltük, hogy a gyapjúval kiegészített táptalaj fokozta a *Trichoderma asperellum* gátló hatását a *Sclerotinia sclerotiorum*-mal szemben, különösen a legnagyobb gyapjúkoncentráció alkalmazásakor. A gyapjú *R. solani*-ra gyakorolt közvetlen hatása feltehetően módosította az antagonista kölcsönhatások alakulását. Mindez arra utal, hogy a gyapjú fungisztatikus tulajdonságokkal rendelkezik, amelynek háttérében több tényező is állhat: egyrészt közvetlen hatása, amely kórokozó- és koncentrációfüggő, másrészt az a szerepe, hogy tápanyagforrásként és védő hordozóként szolgál, ezáltal kedvező feltételeket teremtve a *Trichoderma* növekedéséhez és hatékonyabb biokontroll-aktivitásához.

Korábbi kutatások azt is kimutatták, hogy az aminosav- és komposztalapú hordozóanyagok, amennyiben tápanyagokkal egészítik ki őket, elősegítik a magas *Trichoderma*-populációk kialakulását, valamint fokozzák a talajban a kórokozókkal szembeni elnyomó hatást (Yang et al. 2011). E megfigyeléseket Huang et al. (2011) eredményei is egyértelműen alátámasztották. A jelen vizsgálatban a *Trichoderma asperellum* antagonista aktivitása hasonló módon fokozódott a gyapjú jelenlétében. Biológiai szempontból a gyapjú több olyan tulajdonsággal is rendelkezik, amelyek alkalmassá tehetik a mikrobiális biokontroll-ágensek hordozóanyagaként való alkalmazásra.

5.3 További kutatási irányok és lehetőségek

A jelen kutatás eredményei alapján a *Trichoderma asperellum* és a gyapjú pellet együttes alkalmazása ígéretes lehetőség a fenntartható növénytermesztésben, ugyanakkor a hatásmechanizmusok teljes megértéséhez további vizsgálatok szükségesek. A gyapjú pellet, ahogyan már említettem egy szerves eredetű talajjavító és lassan lebomló biostimuláns, mely kedvező fizikai és kémiai tulajdonságai révén javítja a talaj szerkezetét, víz- és levegőháztartását, valamint tápanyagellátó képességét (Bellingrath-Kimura et al. 2022). Ezek a tulajdonságok nemcsak a termesztett növények számára előnyösek, hanem a rizoszféra mikrobiális közösségeire is jelentős hatással vannak. A szerves anyagokban gazdag közegek elősegítik olyan hasznos mikrobák kolonizációját, mint a *Trichoderma asperellum*, amely a talaj mikrobiális egyensúlyát a növények számára kedvező irányba mozgathatja el. A *Trichoderma* fajok jól alkalmazkodnak a szerves anyagokban gazdag közegekhez, mivel számos extracelluláris enzim (pl. cellulázok, kitinázok, glükánázok) termelésére képesek, így a

lebomló gyapjú pelletből felszabaduló tápanyagokat hatékonyan hasznosítják. (Chet et al. 2002). A gyapjú magas szervesanyag- és nitrogéntartalma fokozatosan feltáródik, ami stabil tápanyagforrást biztosít a talajmikroorganizmusok számára. Ennek köszönhetően a pellet bomlása során megnő a mikrobiális aktivitás és diverzitás. Ez pozitív szinergiát eredményezhet, amelyben a gyapjú pellet táptalajként és kolonizációs szubsztrátként is szolgál a *T. asperellum* számára. A gomba kolonizációja és a pellet lebomlása egymást erősítő folyamatok, amelyek együttesen fokozhatják a növények ellenálló képességét a talajlakó kórokozókkal szemben. A *T. asperellum* által termelt sejtfalbontó enzimek (kitinázok, glükánázok) és másodlagos anyagcseretermékek közvetlenül gátolják a patogén gombákat, miközben a gyapjúból felszabaduló tápanyagok támogatják a gyökérfejlődést és a tápanyagfelvételt (Huang et al. 2011; Yang et al. 2011). Ez a kettős hatás – biokontroll és tápanyagellátás – különösen ígéretes a fenntartható mezőgazdasági rendszerekben, ahol a vegyszerfelhasználás csökkentése és a terméshozam stabilizálása kulcsfontosságú és hosszútávú cél. A gyapjú pellet bomlása során felszabaduló szerves vegyületek és tápanyagok elősegítik a gomba gyorsabb megtelepedését a gyökérfelszínen, mivel a keletkező mikroökoszisztemek kedvező feltételeket biztosítanak a *T. asperellum* kolonizációjához. Ennek hatására a gomba és a növény közötti kölcsönhatás intenzívebbé válik, ami aktiválja a növény természetes védekező mechanizmusait. A *T. asperellum* jelenléte fokozza a szalicilsav, jázmonsav- és etilénalapú jelátviteli útvonalak működését, amelyek kulcsszerepet játszanak a kórokozókkal és különféle abiotikus stresszhatásokkal szembeni ellenállóképesség kialakításában (Mastouri et al. 2010).

A laboratóriumi eredmények megerősítése céljából célszerű lenne a kísérleteket üvegházi, majd szabadföldi termesztőegységekben is elvégezni, hogy pontosabb képet kapjunk arról, miként befolyásolja a gyapjú pellet a növények fejlődését és a talaj mikrobiális aktivitását természetesebb környezetben. A jövőbeni kutatások egyik fő irányaként érdemes lenne körül járni a gyapjú pellet gyökérképződésre gyakorolt hatásának kérdéskörét. A pellet lassan feltáródó nitrogén- és szervesanyag-tartalma várhatóan elősegíti a gyökértömeg növekedést és a laterális gyökerek képződését, ami hozzájárulhat a tápanyag- és vízfelvétel hatékonyságának növeléséhez. Ennek kísérletes igazolására morfológiai és mikroszkópos gyökérvizsgálatok, valamint talajvizsgálatok végezhetőek.

Szintén fontos kutatási terület lehet annak feltárása, hogy a gyapjú pellet és a *T. asperellum* kombinációja miként befolyásolja a növények általános vitalitását és stressztűrő képességét, különös tekintettel a levélfelület-növekedésre, a klorofilltartalomra és a fotoszintetikus aktivitásra. A gyapjúból felszabaduló mikroelemek (pl. Fe, Zn, S) és aminosavak

támogathatják a növény anyagcseréjét, ezáltal javítva a növény kondícióját és regenerációs képességét. Ezen túlmenően érdemes lenne vizsgálni, hogy a pellet közvetett módon befolyásolja-e a kártevők jelenlétét és aktivitását. A szerves anyagokban gazdag közegek megváltoztathatják a rizoszféra mikrobiális közösséget, amelynek egyensúlya hatással lehet a talajban élő kártevők – például fonálférges vagy talajlakó rovarlárvák – populációdinamikájára. Ennek kísérletes feltárása segíthet eldönteni, hogy a gyapjú pellet alkalmazása hozzájárulhat-e a kártevők természetes visszaszorításához.

A jövőben üvegházi és szabadföldi kísérletek keretében úgy gondolom érdemes lenne vizsgálni a gyapjú pellet terméshozamra és termésminőségre gyakorolt hatását. A hozam- és beltartalmi paraméterek (pl. szárazanyag-, C-vitamin-, illetve tápanyagtartalom) mérése pontos képet adhat arról, hogy a pellet milyen mértékben képes fenntartható módon növelni a termelés hatékonyságát, miközben csökkenti a műtrágya- és vegyszerfelhasználást.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntartható mezőgazdaság egyik legnagyobb kihívása napjainkban a talaj egészségének megőrzése a kórokozók elleni védekezés környezetkímélő módon történő megvalósítása mellett. A növénykondicionáló szerek, valamint az organikus eredetű talajjavító anyagok használata egyre nagyobb teret kap az integrált és ökológiai növényvédelmi rendszerekben. Jelen vizsgálatom célja annak vizsgálata volt, hogy a 100%-ban mosott juhgyapjából készült gyapjú pellet – mint innovatív, szerves eredetű talajjavító anyag – miként befolyásolja az antagonista *Trichoderma asperellum* és két mezőgazdaság szempontjából jelentős talajlakó növényi kórokozó, a *Sclerotinia sclerotiorum* és a *Rhizoctonia solani* növekedését és kölcsönhatásait in vitro körülmények között. A gyapjú pellet a körforgásos gazdálkodás egyik kiemelkedően fontos résztvevője lehet, azáltal, hogy az állattenyésztés melléktermékeként, az alacsonyabb piaci értékkel rendelkező gyapjú hasznosítását teszi lehetővé, miközben a talaj tápanyag- és vízháztartásának javítását is szolgálhatja. A kísérletünk során három különböző gyapjú pellet-koncentrációt (0,5; 1,0 és 2,0 g/100 ml) vizsgáltunk. A táptalajok (PDA és gyapjú-PDA keverékek) steril körülmények között kerültek előállításra, majd az egyes gombafajokat steril agarkorong segítségével a Petri-csésze közepére oltottuk. A kolóniák átmérőjét naponta mértük, az adatokat digitálisan rögzítettük és statisztikailag feldolgoztuk. A vizsgálatok során két kísérlet típus került alkalmazásra: egyrészt single-kultúrák lineáris növekedésvizsgálat, másrészt kettős tenyésztés (dual-kultúrák) elrendezés, amelyben a *Trichoderma asperellum* és a patogén gombák közötti antagonisztikus viszonyokat sikerült kiértékelnünk.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a gyapjú pellet jelenléte befolyásolta mind az antagonista, mind a patogén gombák növekedési ütemét. A *Trichoderma asperellum* esetében a gyapjú pellet-tartalmú táptalajon gyorsabb kolonizációt észleltük, míg a patogén gombák növekedése a *Sclerotinia sclerotiorum* és a *Rhizoctonia solani* esetében jelentősen mérséklődött. A dual-kultúrák kísérletek során a *Trichoderma asperellum* gátló hatást fejtett ki a patogénekkal szemben, különösen a közepes és magas gyapjúadagok mellett, ami a gyapjú pellet mikrobiális aktivitást serkentő hatására utal. A kísérletek számadatai rámutattak arra, hogy a gyapjú pellet nem csupán tápanyag- és vízmegtartó tulajdonsága miatt értékes biostimulátor, hanem a mikroorganizmusok közötti kölcsönhatásokat is képes pozitív irányba elmozdítani. E kiemelkedően hasznos tulajdonságai révén a gyapjú pellet hozzájárulhat a talaj mikrobiális egyensúlyának fenntartásához és a természetes biokontroll-folyamatok elősegítéséhez. Mindez különösen fontos az ökológiai gazdálkodásban, ahol a kémiai

növényvédő szerek használata korlátozódik, és növekvő igény mutatkozik a természetes alapú, fenntartható alternatívák iránt.

Összességében elmondható, hogy a gyapjú pellet és a *Trichoderma asperellum* együttes alkalmazása ígéretes alternatívának mutatkozik a talajlakó kórokozók visszaszorításában és jelentős mértékben hozzájárul a növények egészséges fejlődésének elősegítéséhez, talajmikrobiális diverzitás és aktivitás fokozásához, ezáltal a rizoszféra ökoszisztéma-szolgáltatásainak erősítéséhez, ami hosszú távon javítja a mezőgazdasági ökoszisztémák produktivitását, rezilienciáját és talajminőség fenntartását. A vizsgálat eredményei hozzájárulhatnak a biológiai védekezésen alapuló, környezetbarát növényvédelmi technológiák fejlesztéséhez, valamint a körforgásos gazdálkodási rendszerek gyakorlati megvalósításához, elősegítve a fenntartható mezőgazdasági termelés jövőbeli irányait.

7 KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Juhász András Lajosnak, aki hitt bennem, és kiemelkedő szakmai tapasztalatával, türelmével és iránymutatásával hozzájárult kutatásom megvalósításához és diplomadolgozatom elkészítéséhez. Az ő szakmai támogatása és biztatása nélkül jelen dolgozat nem jöhetett volna létre. Hálás köszönet illeti Dr. Dorner Zita tanárnőt, aki tanácsaival és példamutató szakmai elhivatottságával közelebb hozta számomra az agrárpálya valódi szépségeit. Kitartása, lelkesedése és embersége örök példaként fog szolgálni számomra. Köszönettel tartozom továbbá minden oktatómnak, akik az elmúlt évek során tudásukkal és támogatásukkal hozzájárultak szakmai fejlődésemhez, és segítettek abban, hogy növényorvosként a legjobb tudásom szerint végezhessem munkámat.

Külön köszönetemet fejezem ki Mohamed H. Alabbasi doktorandusz hallgatónak, aki mentorként végig mellettem állt, és aktívan segített a közös kutatásaink során és szakmai tanácsaival támogatott.

Végtelen hálával tartozom családomnak – szüleimnek, testvéremnek és nagyszüleimnek – akik minden körülmények között támogattak, biztattak, és hittek bennem az egyetemi éveim alatt. Köszönöm páromnak és barátaimnak, hogy kitartottak mellettem a legnehezebb időszakokban is, és erőt adtak, amikor úgy éreztem, feladnám. A közös támogatás, a bizalom és a szeretet, amit tőlük kaptam, elengedhetetlen volt ahhoz, hogy eljussak idáig. Ez a dolgozat nemcsak az én munkám eredménye, hanem mindazoké is, akik végig mellettem álltak, bátorítottak és hittek abban, hogy képes vagyok rá. Szívből köszönöm mindannyiuknak.

8 IRODALOMJEGYZÉK

1. Akber, M. A., & Fang, X. (2024). *Research Progress on Diseases Caused by the Soil-Borne Fungal Pathogen Rhizoctonia solani in Alfalfa*. Agronomy.
2. Andreo-Jimenez, B., T Schilder, M., H Nijhuis , E., E Te Beest, D., Bloem, J., H M Visser, J., . . . Postma, J. (2021). *Chitin- and Keratin-Rich Soil Amendments Suppress Rhizoctonia solani Disease via Changes to the Soil Microbial Community*. Applied and Environmental Microbiology.
3. Asirifi, K. N., Morgan, W. C., & Parbery, D. G. (1994). *Suppression of Sclerotinia soft rot of lettuce with organic soil amendments*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 131-136.
4. Augustin Pyramus de Candolle, J.-B. L. (1815). *Flore française, ou, Descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France : disposées selon une nouvelle méthode d'analyse, et précédées par un exposé des principes élémentaires de la botanique*. Párizs: Desray, Paris.
5. Badaluddin, N. A., & A. Zin, N. (2020). *Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications*. Annals of Agricultural Sciences.
6. Bellingrath-Kimura, S. D., Ma, H., Li, Q., & Egamberdieva, D. (2022). *A Case Study in Desertified Area: Soybean Growth Responses to Soil Structure and Biochar Addition Integrating Ridge Regression Models*. Agronomy.
7. Benítez, T., M Rincón, A., Limón, M., & C Codón, A. (2004). *Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains*. International Microbiolog, 249-260.
8. Binnian Tian, J. X. (2020). *A cosmopolitan fungal pathogen of dicots adopts an endophytic lifestyle on cereal crops and protects them from major fungal diseases*. The ISME Journal.
9. Burrige, A., Grewal, S., Hubbart-Edwards, S., Yang, C., Scholefield, D., & Ashling, S. (2018). *Detection of T. urartu Introgressions in Wheat and Development of a Panel of Interspecific Introgression Lines*. Frontiers in Plant Science.
10. Camilli, F., Dal Prà, A., & Focacci, M. (2025. február 15). *Turning Waste Wool into a Circular Resource: A Review of Eco-Innovative Applications in Agriculture*. Agronomy.
11. Chandra, P., Senapati, M., Tiwari, A., & Sharma, N. (2022). *Rhizoctonia solani Kühn Pathophysiology: Status and Prospects of Sheath Blight Disease Management in Rice*. Frontiers.

12. **Chet, I., Viterbo, A., Ramot, O., & Chernin, L.** (2002). *Significance of lytic enzymes from *Trichoderma* spp. in the biocontrol of fungal plant pathogens.* Springer Nature, 549-555.
13. **Colla, G., & Roupael, Y.** (2020). *Biostimulants in Agriculture.* Frontiers in Plant Science.
14. **Dal Prà, A., Bortolu, S., Camilli, F., Focacci, M., & Duce, P.** (2025). *Turning Waste Wool into a Circular Resource: A Review of Eco-Innovative Applications in Agriculture.* Agronomy.
15. **Daoda, Z.** (2019. 04 11). *Talajbaktériumok és biostimulátorok.* Forrás: Agrárium 7: <https://agrarium7.hu/cikkek/1444-talajbakteriumok-es-biostimulatorok>
16. **Dolores González, M. R.-C.** (2016). *Phylogenetic relationships of *Rhizoctonia* fungi within the *Cantharellales*.* Fungal Biology.
17. **Dong, D.-F., Pang, F., Li, Q., Kumar Solanki, M., Wang, Z., & Xing, Y.-X.** (2024). *Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms.* Frontiers in Microbiology.
18. **Elghaffar, R. Y., E. Sehim, A., A. Hewedy, O., A. Altammar, K., & S. Alhumaidi, A.** (2023). **Trichoderma asperellum* empowers tomato plants and suppresses *Fusarium oxysporum* through priming responses.* Frontiers in Microbiology.
19. **European Parliament,** (2019. June). *Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009. Official Journal of the European Union, L 170, 1–114.* Brussels, European Union: Publications Office of the European Union.
20. **FAO.** (2021). *THE STATE OF THE WORLD'S LAND AND WATER RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE.* Róma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
21. **Giovanna Franco, S. M.** (2024). *Reconciling Heritage Buildings' Preservation with Energy Transition Goals: Insights from an Italian Case Study.* sustainability.
22. **Gu, G., You, H., Wang, K., Jiang, Y., Bao, H., Du, M., . . . Ai, N.** (2019). *Semi-simultaneous Saccharification and Fermentation of Ethanol Production from *Sargassum horneri* and Biosorbent Production from Fermentation Residues.* Springer Nature.
23. **H.Brown, P., I. Yakhin, O., A. Lubyaynov, A., & A. Yakhin, I.** (2017). *Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective.* Frontiers in Plant Science.

24. **Hagen, K., & Bradshaw, T.** (2022). *Wool Pellets Are a Viable Alternative to Commercial Fertilizer for Organic Vegetable Production*. Agronomy.
25. **Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., & Monte, E.** (2012). *Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes*. Microbiology.
26. **Hoang Loc, N., Duc Huy, N., Tan Quang, H., Thuy Lan, T., & Thi Thu Ha, T.** (2019). *Characterisation and antifungal activity of extracellular chitinase from a biocontrol fungus, Trichoderma asperellum PQ34*. Mycology, an International Journal on Fungal Biology.
27. **Huang, X., Chen, L., Ran, W., Shen, Q., & 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, 741-755.
28. **Jardin, P. d.** (2015). *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation*. Science Direct.
29. **Jaroslav Lang, B. Z.** (2022). *The Effects of Foliar Application of Phenoxy and Imidazoline Family Herbicides on the Limitation of Primary Photosynthetic Processes in Galega orientalis L.* Agronomy.
30. **Ji, H., Yu, R., Liu, H., Zhang, H., Wang, X., Chen, J., & Li, Y.** (2023). *Metabolic Features of a Novel Trichoderma asperellum YNQJ1002 with Potent Antagonistic Activity against Fusarium graminearum*. metabolites.
31. **Jian Fu, Y. X.-F.-H.-F.-J.** (2021). *Trichoderma asperellum alters fungal community composition in saline–alkaline soil maize rhizospheres*. Soil Science Society of America Journal.
32. **Jozsef Kiss, S. I.** (2022). *Biological control properties of microbial plant biostimulants*. Biocontrol Science and Technology, 1351-1371.
33. **Kredics, L., Hatvani, L., M. Khaled, J., Chen, L., Allaga, H., S. Alharbi, N., . . . Büchner, R.** (2018). *Molecular Tools for Monitoring Trichoderma in Agricultural Environments*. Frontiers in Microbiology.
34. **Kühn, J.** (1858). *Krankheiten der Kulturgewächse, ihre Ursachen und ihre Verhütung*. Berlin: Wiegandt & Hempel.
35. **Laura Bononi, J. B.** (2020). *Phosphorus-solubilizing Trichoderma spp. from Amazon soils improve soybean plant growth*. Scientific Reports.
36. **Liang, X., & A. Rollins, J.** (2018). *Mechanis of Broad Host Range Necrotrophic Pathogenesis in Sclerotinia sclerotiorum*. Phytopathology.

37. Lorito, M., L. Woo, S., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., . . . Manganiello, G. (2014). *Trichoderma-based Products and their Widespread Use in Agriculture*. The Open Mycology Journal.
38. Lumsden, R. D. (1979). *Histology and physiology of pathogenesis in Sclerotinia species*. Phytopathology.
39. Manoranjan Senapati, A. T. (2022). *Rhizoctonia solani Kühn Pathophysiology: Status and Prospects of Sheath Blight Disease Management in Rice*. Frontiers in Plant Science.
40. Mark Derbyshire, M. D.-G.-K. (2017). *The Complete Genome Sequence of the Phytopathogenic Fungus Sclerotinia sclerotiorum Reveals Insights into the Genome Architecture of Broad Host Range Pathogens*. Genome Biology and Evolution.
41. Mastouri, F., Shores, M., & E. Harman, G. (2010). *Induced Systemic Resistance and Plant Responses to Fungal Biocontrol Agents*. ANNUAL REVIEW OF PHYTOPATHOLOGY.
42. Mills, E. P. (2024). ELF Pellet Mills. Forrás: https://elfpelletmills.com/wool-pellets/?utm_source
43. Mostofa, M. G., Hossain, M. M., Sultana, F., Li, W., & Tran, L.-S. (2023). *Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary: Insights into the Pathogenomic Features of a Global Pathogen*. Cells.
44. O’Sullivan, C. A., Belt, K., & F. Thatcher, L. (2021). *Tackling Control of a Cosmopolitan Phytopathogen: Sclerotinia*. Frontiers in Plant Science.
45. Oleg I. Yakhin, A. A. (2017). *Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective*. Frontiers in Plant Science.
46. Olivares, F. L., & P. Canellas, L. (2014). *Physiological responses to humic substances as plant growth promoter*. Chemical and Biological Technologies in Agriculture.
47. Prà, A. D. (2024). *Wool Agro-Waste Biomass and Spruce Sawdust: Pellets as an Organic Soil Amendment*. Sustainability.
48. Scudeletti, D., Costa Crusciol, C., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Momesso, L., Tubaña, B. S., . . . Hungria, M. (2021). *Trichoderma asperellum Inoculation as a Tool for Attenuating Drought Stress in Sugarcane*. Frontiers in Plant Science.
49. Senapati, M., Tiwari, A., Sharma, N., Chandr, P., Bashyal, B., Ellur, R., . . . Krishnan, S. (2022). *Rhizoctonia solani Kühn Pathophysiology: Status and Prospects of Sheath Blight Disease Management in Rice*. Frontiers in Plant Science.
50. Shirazi, M. P. (2018). *Effects of mycorrhizal symbiosis on nutrient uptake and water use efficiency of tomato under drought stress*. Journal of Water and Soil, 809–820.

51. **Shoresh, M., E Harman, G., & Mastouri, F.** (2010). *Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents*. *Phytopathology*, 913–921.
52. **Suiter, D., & Scharf, M.** (2009). *Insecticide basics for the pest management professional*. University of Georgia, Cooperative Extension. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10724/12169>
53. **Suiter, D., & Scharf, M.** (2009). *Insecticide basics for the pest management professional*. University of Georgia, Cooperative Extension.
54. **Terence Bradshaw, K. H.** (2022). *Wool Pellets Are a Viable Alternative to Commercial Fertilizer for Organic Vegetable Production*. *Agronomy*.
55. **Vasconcelos Pereira, R., C. Filgueiras, C., Dória, J., Fernanda G. V. Peñafior, M., & S. Willett, D.** (2021). *The Effects of Biostimulants on Induced Plant Defense*. *Frontiers in Agronomy*.
56. **Veres Andrea, P. E.** (2022). *How Different Mulch Materials Regulate Soil Moisture and Microbiological Activity?* *Journal of Central European Green Innovation*.
57. **Veres, A.** (2025). *Fitowool*. Forrás: A gyapjú szerepe a talajerőgazdálkodásban: <https://gyapjumulcs.hu/cikkek/a-gyapju-szerepe-a-talajerogazdalkodasban-dr-veres-andrea-eloadasa/>
58. **Veres, A., Juhos, K., Benke, S., Papdi, E., Kocsis, I. A., & Sándor, Z.** (2024). *Tapasztalatok a gyapjú pellet szántóföldi, kertészeti és erdészeti alkalmazásáról*. Agrárágazat.
59. **Veres, A., Juhos, K., & Túróczi, G.** (2025). *FITOWOOL*. Forrás: A gyapjúpellet mint szerves trágya jelentősége a biogazdálkodásban: <https://gyapjumulcs.hu/cikkek/a-gyapju-pellet-mint-szerves-tragyja-jelentosege-a-biogazdalkodasban/>
60. **Vinale, F., Sivasithamparam, K., L. Ghisalberti, E., Marra, R., L. Woo, S., & Lorito, M.** (2008). *Trichoderma–plant–pathogen interactions*. *Soil Biology & Biochemistry*.
61. **Volpe, V. C.** (2018). *The association with two different arbuscular mycorrhizal fungi differently affects water stress tolerance in Tomato*. *Frontiers in Plant Science*, 1-16.
62. **Y. L.-X., Cao, H., Li, X., Wang, Z., Ding, M., Sun, Y., . . . Doughty, J.** (2015). *Histone H2B Monoubiquitination Mediated by HISTONE MONOUBIQUITINATION1 and HISTONE MONOUBIQUITINATION2 Is Involved in Anther Development by Regulating Tapetum Degradation-Related Genes in Rice*. *Plant Psychology*.
63. **Yang, X., Chen, L., Yong, X., & 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*, 239-248.

64. **Yanli Wei, H. Y.** (2023). *Trichoderma harzianum* inoculation promotes sweet sorghum growth in the saline soil by modulating rhizosphere available nutrients and bacterial community. *Frontiers in Plant Science*.
65. **Youssef Rouphael, G. C.** (2018). *Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture*. *Frontiers* .
66. **Youssef Rouphael, G. C.** (2020). *Editorial: Biostimulants in Agriculture*. *Frontiers in Plant Science*.
67. **Zin , N. A., & Badaluddin, N. A.** (2020). *Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications*. *Annals of Agricultural Sciences*, 168–178.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Pongrácz Zsófia
A Hallgató Neptun kódja: CB98YU
A dolgozat címe: **A GYAPJÚPELLET ÉS A TRICHODERMA ASPERELLUM
KÖLCSÖNHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA NÖVÉNYI PATOGÉN GOMBÁK
FEJLŐDÉSÉRE IN VITRO KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT**
A megjelenés éve: 2025.
A konzulens intézetének neve: **Növényvédelmi Intézet**
A konzulens tanszékének a neve: **Integrált Növényvédelmi Tanszék**

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

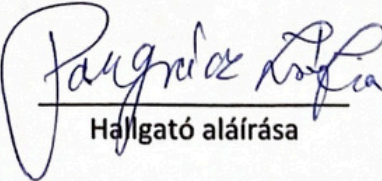
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Gödöllő, 2025. október 29.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Pongrácz Zsófia (név) (hallgató Neptun azonosítója: CB98YU) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

Adolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2025. november 2.



belső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Pongrácz Zsófia
Neptun-kódja:	CB98YU
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: TDK
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka
A munka címe:	A GYAPJÚPELLET ÉS A TRICHODERMA ASPERELLUM KÖLCSÖNHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA NÖVÉNYI PATOGÉN GOMBÁK FEJLŐDÉSÉRE IN VITRO KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat	A prompt-naplót tartalmazó

	verziója, elérhetősége	pontos sorszáma	melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

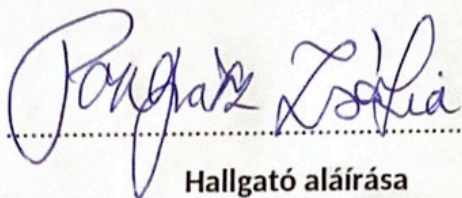
.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. november 1.



.....

Hallgató aláírása



.....

Konzulens/Témavezető aláírása