

DEBRECENI EGYETEM

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Holb Imre

egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Tarcali Gábor

tudományos főmunkatárs

**A napraforgó hamuszürke hervadását okozó kórokozó (*Macrophomina
phaseolina*) biológiájának és kártételének vizsgálata a Kárpát-
medencében**

Készítette:

Csüllög Kitti

doktorjelölt

Debrecen

2023

A doktori értekezés betétlapja

**A NAPRAFORGÓ HAMUSZÜRKE HERVADÁSÁT OKOZÓ KÓROKOZÓ
(*MACROPHOMINA PHASEOLINA*) BIOLÓGIÁJÁNAK ÉS KÁRTÉTELÉNEK
VIZSGÁLATA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Csüllög Kitti okleveles növényorvos

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája
(Növénytermesztési tudományok programja) keretében

Témavezető: Dr. Tarcali Gábor
(tudományos főmunkatárs)

Az értekezés bírálói:

A bírálóbizottság:

elnök: _____

tagok: _____

Az értekezés védésének időpontja: 20... .. .

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
2.1. A kórokozó rendszertani besorolása és nevének eredete.....	8
2.2. A kórokozó morfológiája.....	10
2.3. A kórokozó életciklusa	11
2.4. A kórokozó micéliális kompatibilitása	12
2.5. A <i>Macrophomina phaseolina</i> genetikai variabilitásának kimutatása PCR technológiákkal.....	15
2.6. A <i>Macrophomina</i> genus.....	17
2.7. A betegségek kialakulásának környezeti feltételei	17
2.7.1. Hőmérséklet	18
2.7.2. Talajnedvesség	18
2.8. A kórokozó által okozott tünetek napraforgón	19
2.9. A kórokozó jelentősége és az általa okozott károk.....	19
2.10. A gomba európai elterjedése.....	20
2.11. Gazdanövénykör	21
2.12. Magyarországi gazdanövényköre	22
2.13. A vetésváltás	23
2.14. A kórokozó elleni védekezés biológiai módszerekkel.....	23
2.15. A kórokozó elleni védekezés lehetőségei kémiai módszerekkel	27
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	28
3.1. A kórokozó elterjedtsége és az általa okozott tünetek vizsgálata.....	28
3.1.1. Minták gyűjtése.....	28
3.1.2. A kórokozó által okozott tünetek azonosítása napraforgón szántóföldi körülmények között.....	28
3.1.3. A napraforgó hibrid jellemzése.....	28
3.2. A kórokozó által okozott károk felmérése.....	29
3.3. A kórokozó kompatibilitásának, mikroszklerócium átmérőinek és molekuláris biológiai vizsgálata	30
3.3.1. Tisztatényeszetek készítése.....	30
3.3.2. A mikroszkleróciumok méretének vizsgálata	30

3.3.3. Az izolátumok micéliális kompatibilitási vizsgálata	31
3.3.4. A kórokozó molekuláris biológiai vizsgálata.....	31
3.4. A patogén elleni biológiai védekezési lehetőségek vizsgálata	33
3.5. A patogén elleni kémiai védekezési lehetőségek vizsgálata.....	34
3.5.1. A patogén elleni kémiai védekezés <i>in vitro</i>	34
3.5.2. Prokloráz hatóanyag tesztelése Petri-csészékben.....	36
3.5.3. A prokloráz hatóanyag tesztelése tenyészedényekben.....	36
3.5.4. A prokloráz hatékonyságának tesztelése szántóföldi körülmények között.....	37
3.6. Adatelemzés/statisztikai próbák	38
4. EREDMÉNYEK.....	39
4.1. A kórokozó elterjedtségének és az általa NK Neoma hibriden okozott tüneteknek a vizsgálata.....	39
4.1.1. A kórokozó elterjedtsége.....	39
4.1.2. A vizsgálat során tapasztalt tünetek	41
4.2. A kórokozó által okozott károk felmérése	46
4.2.2. Az időjárási viszonyok hatása a fertőzésre	48
4.2.3. A fertőzés hatása a termésveszteségre	50
4.3. A kórokozó kompatibilitásának, mikroszklerócium átmérőinek vizsgálata és molekuláris biológiai azonosítása	51
4.3.1. A gyűjtött izolátumok micéliális kompatibilitása	51
4.3.2. A mikroszkleróciumok mérete.....	53
4.3.3. Molekuláris azonosítás.....	55
4.4. A biológiai védekezési kísérletek eredményei.....	58
4.5. A <i>Macrophomina phaseolina</i> elleni kémiai védekezési kísérlet eredményei.....	63
4.5.1. A <i>M. phaseolina phaseolina</i> elleni kémiai védekezés <i>in vitro</i> körülmények között.....	63
4.5.2. Prokloráz hatóanyag csávázó hatásának tesztelése Petri-csészékben	68
4.5.3. A tenyészedényes kísérlet eredményei.....	75
4.5.4. A prokloráz tesztelése szántóföldi körülmények között	79
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	84
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	92
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK.....	94
8. ÖSSZEFOGLALÁS	95
9. SUMMARY.....	98

10. IRODALOMJEGYZÉK	101
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	119
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	125
12. NYILATKOZATOK	126
13. Mellékletek	127

1. BEVEZETÉS

A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich több, mint 500 kétszikű és egyszikű növényfajon fordul elő a világ szinte minden területén (Ghosh és munkatársai, 2018). Magyarországon elsőként Békési és munkatársai (1970) azonosították a kórokozót napraforgón az ország számos területén. Mára az e gomba által kiváltott kór a napraforgó egyik leggyakoribb és legnagyobb károkat okozó betegsége.

A gomba biológiájából adódóan a száraz meleg időjárást kedveli, ezért azokon a területeken okoz számottevő gazdasági kárt, ahol a nyarak szárazak (Sarr és munkatársai, 2014). A folyamatos éghajlat változás miatt az a jövőben olyan területeken is jelentős kárt fog okozni, ahol a korábbiakban egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben fordult elő. A széles gazdanövényköre miatt, valamint a rendkívüli adaptálódó képessége miatt akár 100%-os termésvesztést is okozhat ez a gomba önmagában (Dhingra és Sinclair, 1978). Ez a széles körben elterjedt növénypatogén gomba jelentős gazdasági károkat okoz számos gazdaságilag kiemelt fontosságú növényben. Romero Luna és munkatársai (2017) szerint az Amerikai Egyesült Államokban 2010-2013 között a hamuszürke hervadás már a legnagyobb termés kiesést okozó öt betegség között szerepelt. Van der Waals és munkatársai (2013) szerint az éghajlatváltozás miatt az átlaghőmérséklet 2 °C-kal emelkedik, míg az éves átlagos csapadékmennyiség csökkenni fog. Ez a hatás növelni fogja a hamuszürke hervadás számára optimális körülmények kialakulásának gyakoriságát. Jelenleg korlátozottak az információk a betegség által Dél-Afrikában okozott termés kieséssel kapcsolatban. India száraz és félszáraz régióinak bioökológiai tényezői hozzájárulnak a betegség kialakulásához. A tehénborsó (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) esetében a kórokozó 80%-os előfordulását regisztrálták (Lodha és munkatársai, 1986), a napraforgó esetében pedig 30%-os kaszattömeg csökkenést dokumentáltak (Raut, 1981). A szójabab éves termésvesztése elérheti a 80%-ot (Gupta és Chauhan, 2005). Csicsereborsóban (*Cicer arietinum* L.) közel 40%-os fertőzöttséget mutattak ki (Indira és Gayatri, 2003).

A gomba ellen a védekezés a károsítása miatt indokolt, viszont a rendkívüli adaptálóképessége, nagymértékű genetikai variabilitása, a széles gazdanövényköre és a mikroszkleróciumok életképessége miatt a gyakorlatban alig maradt használható védekezési eljárás. A védekezés tervezésekor figyelembe kell vennünk a *Trichoderma* fajok hatékonyságát. Számos *Trichoderma* faj használható potenciális biokontroll ágensként, valamint növekedésfokozóként különféle haszonnövények esetében

(Savazzini és munkatársai, 2009). A *Trichoderma* nemzetségben számos antagonistá faj található. Ezt a hatást közvetett (verseny a tápanyagokért és az élettérért) vagy közvetlen (mikoparazitizmus) eszközökkel érik el e gombafajok (Benitez és munkatársai, 2004). A biológiai védekezés mellett a kémiai védekezés vizsgálata is fontos. Az Európai Unió folyamatos hatóanyag kivonásai megnehezítik, az amúgy is nehéz helyzetben lévő védekezést, viszont rendelkezésre állnak még olyan hatóanyagok, amelyek felhasználhatók a kórokozó ellen. Lokesh és munkatársai (2020) különböző szisztémikus (azoxistrobin, karbendazim, hexakonazol, propiokonazol, tebukonazol, tiofanát-metil, difenokonazol) és kontakt (réz-oxiklorid, mankoceb, propineb, tiram, klórtalonil) növényvédő szer hatóanyagokat vizsgáltak *in vitro* körülmények között a *M. phaseolina* gombával szemben. Ezekből számos a mai napon is elérhető a magyar piacon. Lokesh és munkatársai (2020) szerint a szisztémikus fungicidek koncentrációjának növekedésével a micéliumnövekedést gátló hatásuk is nőtt.

Célkitűzéseim:

1. A kórokozó széleskörű elterjedésének igazolása és a betegség tüneteinek pontos azonosítása a Kárpát-medencében.
2. A fertőzés okozta gazdasági károk felmérése 2019-es és 2020-as vegetációs évben.
3. A gomba mikroszklerócium méreteinek meghatározása napraforgó bélszövetben és burgonya dextróz táptalajon.
4. A gomba micéliális kompatibilitásának vizsgálata, ezáltal meghatározni a különböző vegetatív kompatibilitási csoportokat.
5. A kórokozó fajszerű azonosítása molekuláris biológiai módszerrel (PCR).
6. A patogén elleni biológiai védekezési lehetőségek vizsgálata *in vitro* körülmények között
7. A patogén elleni kémiai védekezési lehetőségek vizsgálata *in vitro*, *in vivo* és nagy parcellás szántóföldi körülmények között.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A kórokozó rendszertani besorolása és nevének eredete

A *Macrophomina phaseolina* taxonómiai státuszát az elmúlt 100 év során többször is felülvizsgálták. Ashby (1927) szerint 1912-ben Shaw (1912) egy apró fekete szkleróciumokkal rendelkező gombát írt le a juta, a tehénborsó, a földimogyoró és a gyapot palántabetegségének okozójaként Pusában, Indiában. Ashby (1927) szerint Shaw tévesen a *Rhizoctonia solani* Kühn-re hivatkozott, mint a betegség okozója. Taubenhauz (1913) hasonló szkleróciális formát írt le édesburgonyáról New Jersey-ben (USA) és a szénrothadás okozójaként, *Sclerotium bataticola*-nak nevezte el. Small (1924) kutatása során leírt egy fásszárú növényekről izolált *Rhizoctonia* fajt Ugandában, amely változó méretű és alakú fekete szkleróciumot képzett. A kórokozót *Rhizoctonia lamellifera*-nak nevezte el. Briton-Jones (1925) Egyiptomban izolált egy szkleróciumot képző gomba fajt, amely gyökérrothadást okozott gyapoton, tehénborsón és francia babon. Briton-Jones (1925) a kórokozót *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butl. néven írta le. A kórokozó fajleírásában közreműködött Butler, aki az egyiptomi, amerikai és indiai területeken izolált kórokozók tisztatenyészeit hasonlította össze és megállapította, hogy ugyanaz a fajról van szó. Small (1926) felismerte a gomba azonosságát az indiai, egyiptomi és amerikai formákkal, és elhagyta a *R. lamellifera* nevet. Sawada (1916) leírt egy betegséget *Corchorus capsularis* növényről Formosában (Tajvan). A betegséget egy piknídiumos gomba okozta, amelyet *Macrophoma corchori*-nak nevezett el. A tisztatenyészetben fekete szkleróciumok alakultak ki, amelyekről tévesen azt gondolta, hogy éretlen piknídiumok lehetnek. Shaw (1924) további tanulmányokat folytatott a *C. capsularis* és *C. olitorius* növények betegségeiről Indiában. Az általa talált *Macrophomina* faj piknídiumos formájából készített monospóras kultúrákban szkleróciumok fejlődtek. A Sawadatól kapott tisztatenyészetek vizsgálata során arra a megállapításra jutott, hogy az Indiában és Tajvanon talált izolátumok azonosak, ezért a kórokozónak a *Macrophoma Corchori* Saw. nevet adta. A monospóras tenyészetekben, ha jutától eltérő gazdaszervezeteket oltottak be, szkleróciumos forma kialakult, de piknídiumos forma nem. Shaw arra a következtetésre jutott, hogy a piknídiumos forma a jutára korlátozódik. A Taubenhauzsal folytatott tenyészetek cseréje megállapította az indiai és az amerikai forma azonosságát, de amikor az édesburgonyából származó amerikai törzset jutára oltották, bár képződtek szkleróciumok, piknídiumok azonban nem

(Ashby, 1927). Petrak (1923) a Fülöp-szigetéről származó szezámszáron található *Macrophoma* fajt az új *Macrophomina* nemzetségének típusfajaként írta le. 1925-ben Small egy Ugandában szkleróciumokkal telt *Sesamum indicum* növény gyökerét és szárának alsó harmadát küldte el az Imperial Bureau of Mycology-nak. Szintén 1925-ben Snowden is küldött mintákat a társasághoz. A minták *Macrophoma* piknídiumokkal igen, viszont mikroszkleróciummal nem voltak fertőzöttek. A szezámmagon fejlődött piknídiumok külsőleg megegyeztek a *Macrophoma corchori* gomba piknídiumaival. Ezután a spórákat kicsíráztatták módosított táptalajban. Néhány nap elteltével 26 °C-on a táptalajban apró fekete szkleróciumok fejlődtek ki, és mindegyikről kiderült, hogy a *Rhizoctonia bataticola* gombához tartoznak. Nyilvánvalóvá vált, hogy egy *Macrophoma* faj életciklusában fontos szerepet játszik a *Rhizoctonia bataticola* alak, ezért Ashby (1927) létrehozta a *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) binomiális fajt. Ashby (1927) egyetértett a nemzetség Petrak általi (1923) felosztásával, mivel a *Macrophoma* genus igen heterogén volt. Ashby kutatása során több szinonim nevet is felsorolt, mint a:

- *Macrophoma phaseoli* Maubl. (1905)
- *Sclerotium bataticola* Taub. (1913)
- *Macrophoma corchori* Saw. (1916)
- *Macrophoma cajani* Syd. and Buti. (1916)
- *Macrophomina philippinensis* Petr. (1923)
- *Rhizoctonia lamellifera* Small (1924)
- *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Buti. (1925)
- *Dothiorella cajani* Syd. and Buti. (1925)
- *Macrophoma sesami* Saw. (1922)

Az Ashby által leírt binominális formát később Goidanich (1947) *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid.-ra cserélte, mivel a *Macrophomina* eredeti példányát Tassi gyűjtötte be 1901-ben. Innen ered a két gyakran használt név, a *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) Ashby és a *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid.

Young (1949) szerint a közismert gombás eredetű megbetegedéseket kiváltó kórokozók elnevezéseinek folyamatos változtatása zavaró lehet, ezért a nomina conservanda politikáját használva a *Macrophomina phaseolina* esetében visszatértek a kutatók az eredeti elnevezésre a *Macrophomina phaseoli* névre. Young (1949) szerint előnyösebb a spórástádiumot képző alak használata. Jelenleg a kutatók az 1947-es elnevezést tartják helyesnek, miszerint a gomba legitim neve *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. A

kórokozónak nincs a szakirodalom által is elismert ivaros alakja, ettől függetlenül jelen állás szerint a *Botryosphaeriaceae* családba tartozik a következő rendszer szerint

Királyság: Fungi

Törzs: *Ascomycota*

Osztály: *Dothideomycetes*

Rend: *Botryosphaeriales*

Család: *Botryosphaeriaceae*

Nemzetség: *Macrophomina*

Faj: *Macrophomina phaseolina*

A kórokozó ivaros alakjáról egy nem megerősített publikáció ír. Mihail (1992) szerint a *M. phaseolina* teleomorf alakja az *Orbilia obscura*, amelyről Ghosh és munkatársai (1964) írtak először.

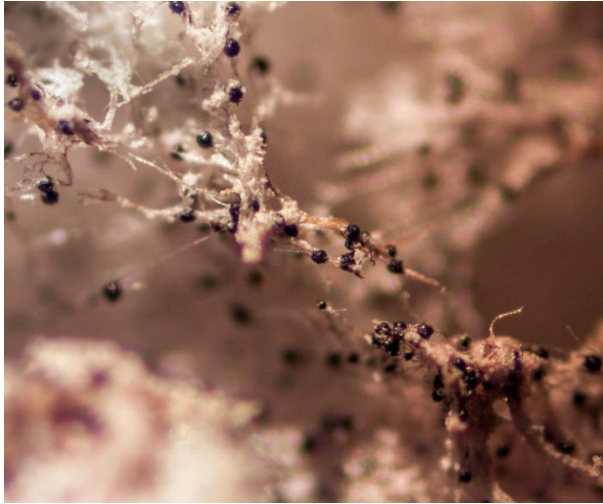
2.2. A kórokozó morfológiája

A kórokozónak két ivartalan alakja ismert. A piknídiumos *Macrophomina phaseolina* és a mikroszkleróciumot képző *Rhizoctonia bataticola* (1. ábra) alakok. A patogén mikroszkleróciumos alakját 11 évvel korábban azonosították, mégis a magasabb fejlettségű *Macrophomina phaseolina* alak az elfogadott a szakirodalom által.

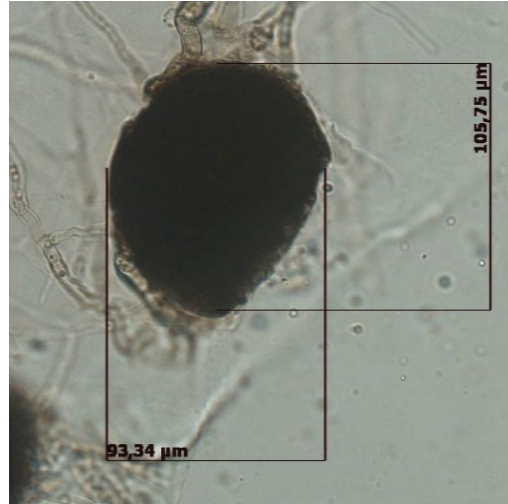
A *Macrophomina phaseolina* alak piknídiumokat képez a gazdanövényeken (Mihail és Taylor 1995), de a gomba epidemiológiájában betöltött szerepe az érintett gazdafajtól és a gomba izolátumától függ (Ahmed és Ahmed 1969). A piknídiumok vastag fallal rendelkeznek, lapítottak, sötétbarnák, 100-200 µm átmérőjűek (Horváth, 1995). A *Macrophomina* piknospóráinak alakja az ellipszoidtól az obovoidig terjedhet, méretük 20–24 x 7–9 µm (Gupta és munkatársai, 2012). A konídiumtartók kúp-alakúak, áttetszők/hialinok, méretük: 5-13 x 4-6 µm (Horváth, 1995). Haig (1928), valamint Singh és Kaiser (1995) szerint a piknídium valamennyi esetben képez mikroszkleróciumot, azonban a mikroszkleróciumos alak nem képez piknídiumot.

Egy mikroszklerócium 50-200 db sejtől állhat, a sejteket egy-egy septumpórus egyesíti, a vegetációs időszakban többször is kicsírázhat (Gupta és munkatársai, 2012). Haig (1929) a *Macrophomina phaseoli* (*Rhizoctonia bataticola*) huszonhét törzsét három csoportra osztotta a tenyészetben mért átlagos mikroszklerócium átmérőjük alapján. Az első vagy „C” csoport azokat a törzseket tartalmazta, amelyek átlagos mikroszklerócium átmérője 120 µm (2. ábra) vagy kisebb, a középső vagy „B” csoportba tartoznak azok,

amelyeknek az egyik átmérője körülbelül 200 μm , míg az „A” csoportba azok a törzsek tartoznak, amelyek mikroszkleróciumai nagyobbak, mint egy milliméter. Short és Wyllie (1978) szerint a mikroszkleróciumok változó méretűek (50-150 μm), attól függően, hogy milyen tápanyagok állnak rendelkezésre abban a szubsztrátban, amelyben a propagulumok/szaporítóképletek keletkeznek.



1. ábra: Mikroszkleróciumok napraforgószár bélszövetében (mikroszkópi felvétel)



2. ábra: Táptalajon képződött mikroszklerócium mérete (mikroszkópi felvétel)

2.3. A kórokozó életciklusa

A gomba a kedvezőtlen időjárási viszonyokat mikroszklerócium formájában vészeli át a talajban, így ez az elsődleges fertőzési forrása (Tonin és munkatársai, 2013). A mikroszkleróciumok életképességéről megoszlanak a vélemények. Gupta és munkatársai (2012) szerint megfelelő környezeti viszonyok mellett akár 15 évig is megtarthatják életképességüket, míg Su és munkatársai (2001) szerint maximum három évig képesek kitartani. Hartman és munkatársai (2015) szerint nedves talajban a micélium 7 napnál tovább nem marad életben, a mikroszkleróciumok pedig 7-8 hét alatt elveszítik életképességüket.

A patogén talajban való növekedését a mikroszkleróciumokban tárolt tápanyagok biztosítják, így a gomba növekedése akkor is folytatódik, ha a talaj tápanyagszintje már nem elegendő a gombaversenyársak növekedéséhez. E tulajdonsága miatt, ha a talaj tápanyagtartalma alacsony, és a hőmérséklet 30 °C felett van (Gupta és munkatársai, 2012), a gomba jól versenyez más talajból fertőző kórokozókkal. A gyökérváladékok indukálják a mikroszkleróciumok csírázását. Megfelelő körülmények között a vetőmag

kelése során a patogén a szikleveleken, a hajszálgökereken vagy a gyökérfelszíni sérüléseken keresztül is fertőzhet (Pandey és Basandrai, 2021). A mikroszkleróciumok néhány sejtje egyszerre csírázik a gyökerek felszínén vagy azok közvetlen közelében. Számos csíracső képződik, amelyek az epidermális sejtek falán appreszóriumokat hajtanak. Az appreszóriumok mechanikai nyomással és enzimmekkel, vagy sebeken és természetes nyílásokon keresztül hatolnak be az epidermális sejt falon (Olaya és Abawi, 1996). Miután a hifák elterjedtek a gyökérrendszerben, megfertőzik az érszövetet, és micéliumot, valamint mikroszkleróciumot képeznek az érszövetben, ezáltal eltömik a xilém szállítószöveteket (Babu és munkatársai, 2007). Ez megakadályozza, hogy a víz és a tápanyagok a gyökérből a növények felső részébe kerüljenek, ami a gazdaszervezet hervadásához vezet (Pandey és Basandrai, 2021). Gupta és munkatársai (2012) szerint a virágzás kezdetén a fertőzött növények nekrotikus elváltozásokat mutatnak. Az eltérő gazdanövények morfológiájából adódóan a tünetek rendkívül sokrétűek lehetnek. A fertőzés folyamán gombatoxinok is termelődnek, mint a phaseolinon vagy botryodiplodin (Abbas és munkatársai, 2019; Ramezani és munkatársai, 2007). A szójában a mikroszkleróciumok képződését a virágzás és a hüvelyek megkötése váltja ki (Wyllie és Calvert 1969). A gazdanövény elpusztulása után a micélium általi kolonizáció és a mikroszkleróciumok kialakulása a gazdaszövetben folytatódik, amíg a szövetek el nem száradnak. A gyökér- és növényi törmelék pusztulása után mikroszkleróciumok szabadulnak fel és kerülnek a talajba, és a körforgás folytatódik (Gupta és munkatársai, 2012). A szántóföldön a mikroszkleróciumok lehetővé teszik, hogy a patogén túlélje a kedvezőtlen éghajlati viszonyokat, ezért a mikroszkleróciumok fontos szerepet játszanak annak életciklusában és epidemiológiájában. A kórokozó túlélését és terjedését számos tényező befolyásolja, mint a talajnedvesség, a hőmérséklet és a relatív páratartalom (Pandey és Basandrai, 2021).

2.4. A kórokozó micéliális kompatibilitása

A természetben a legnagyobb és a legmegbízhatóbb genetikai információcserére az ivaros szaporodás során kerül sor. Két kompatibilis ivarsejt és haploid sejt mag egyesülése együttesen teremti meg a meiózis feltételeit. A szomatikus rekombináció esetében vegetatív sejtek vesznek részt a genetikai információ cseréjében vagy annak egyoldalú felvételében. A gombák esetében nem feltétlenül szükséges ivarszervek kialakulása a genetikai információ átadásához, elegendő vegetatív tenyésztés (hifa) vagy ivartalan spóra (konídium). A *Macrophomina phaseolina* esetében nem írtak le ivaros

alakot, ennek ellenére a genetikai variabilitása nagyfokú (Iqbal és Mukhtar, 2014; Sarr és munkatársai, 2014; Machado és munkatársai, 2019; Crous és munkatársai, 2006). Az ivaros stádium nélküli fonalas gombák genetikai változatait génmutáció, hifa fúzió (hyphal fusion) és mitotikus rekombináció (mitotic recombination) idézi elő (Carlile, 1987). Az ivaros szaporodás nélküli genetikai rekombinációt először az *Aspergillus nidulans*-ban figyelték meg a heterokarion kialakulásával kezdődő parasexuális ciklusban (Pontecorvo, 1956). Amikor két genetikailag kompatibilis törzs hifái között hifahidak (anasztomózisok) alakulnak ki, ugyanazon citoplazmába kerülnek a genetikailag eltérő sejtmagvak, ezt nevezzük heterokariózisnak (Jakucs és Vajna, 2003). Két különálló haploid mag egyesülhet a heterokarionban, ami egy heterozigóta diploid mag kialakulását eredményezheti. (Strom és Bushley, 2016; Pontecorvo, 1956). Az ilyen sejtmagvak stabilitása gyenge, mivel nem garantált, hogy az egymást komplementáló sejtmagvak mindegyike képes átjutni az utódsejtbe (Jakucs és Vajna, 2003). A diploid sejtmag osztódása során mitotikus rekombináció és mitotikus non-diszjunkció (a teljes kromoszómák ismételt elvesztése) előfordulhat, ami új allélkombinációkat tartalmazó rekombináns haploid magokat eredményezhet (Strom és Bushley, 2016; Pontecorvo, 1956). Ugyanis a parasexuális szakaszban nincs meiózis, így a kromoszómaszám csökkenés random kromoszómavesztéses folyamat eredménye, amely haploidizáció formáján következik be (Jakucs és Vajna, 2003).

A parasexuális szaporodás közreműködhet új virulens változatok létrehozásában. Ezt a folyamatot igazolták már *Fusarium oxysporum*, *Verticillium albo-atrum* és *Magnaporthe grisea* esetében. A teljes parasexuális ciklus ritka esemény és fajon belül nem mindegyik egyed képes rá. A vegetatív inkompatibilitásra jellemző, hogy fajon belüli egyedek között csak az azonos vegetatív kompatibilitási csoportba (VCG) tartozók között alakul ki anasztomózis és jöhet létre a heterokarióta állapot (Gáborjányi és Király, 2007) Ha két izolátum nem ugyanabba a VCG csoportba tartozik a két izolátum között kétféle interakció alakulhat ki: torlasz (barrage), vagy a sejtfúziót hirtelen követő sejthalál (Jakucs és Vajna, 2003). A vegetatív inkompatibilitás több hasznos funkcióval is rendelkezik, többek között ez a mechanizmus megakadályozza, hogy bizonyos mikovírusok és szenescenciaplazmidok terjedjenek az izolátumok között. Továbbá a csak ivartalan módon szaporodó gombák esetében megóvjá a klónként szaporodó vonalak a genetikai felhígulásától (outbreeding).

A heterokarionok életképessége a két heterokarion-önkompatibilis (heterokaryon-self-compatible; HSC) izolátum közötti fiziológiai komplementációtól, valamint a *het*

(heterokarion-inkompatibilitás) vagy *vic* (vegetatív inkompatibilitásért) génekkel végzett specifikus genetikai kontrolltól függ. Életképes heterokarionok képződnek, amikor a HSC izolátumok azonos allélokot hordoznak minden *het* lókuszban, ami az izolátumokat ugyanabba a vegetatív kompatibilitási csoportba (VCG) rendeli. Ezzel szemben, ha az izolátumok genetikailag különböznek egy vagy több *het* lókuszban, a heterokarióta sejtek gyorsan elpusztulnak, és az izolátumok különálló VCG-kbe kerülnek (Saupe, 2000; Leslie, 1993). Az anasztomózisban hibás mutánsokat, amelyeket heterokaryon-ön-inkompatibilisnek (heterokaryon-self-incompatible; HSI-nek) neveznek számos fonalas gombafajban azonosítottak. Jellemzi őket, hogy nem képesek anasztomózist képezni, vagy nagyon csökkent számú hifafúziós eseményeket produkálnak (Pereira és munkatársai, 2018; Rosada és munkatársai, 2013; Glass és munkatársai, 2000). Mivel a HSI mutánsok nem esnek át hifafúziókon, más egyedekkel még egymás között sem képesek heterokarionokat képezni (Glass és munkatársai, 2000), ezért csak a heterokarion-önkompatibilis csoportnak (HSC) nevezett anasztomózisban lévő vad típusú izolátumok képesek heterokarionokat képezni.

Korábbi kutatások kimutatták, hogy a *M. phaseolina* brazil populációi nagy genetikai és patogén variabilitással rendelkeznek (Almeida és munkatársai, 2003; Claudino és Soares, 2014). Pereira és munkatársainak (2018) eredményei először igazolták, hogy a *M. phaseolina* vegetatívan kompatibilis izolátumai életképes heterokarionokat és instabil diploidokat képezhetnek. Eredményeik szerint a paraszexuális ciklus végbemehet *M. phaseolina* gomba esetében is. Tíz különböző VCG csoportot találtak tizenkettő *M. phaseolina* izolátum között, ami nagymértékű genetikai variabilitásra enged következtetni.

Magyarországon eddig Csöndes (2011) foglalkozott a *Macrophomina phaseolina* micéliális kompatibilitásának vizsgálatával. 50 magyarországi és 3 külföldi *M. phaseolina* izolátumot vizsgált. Eredményei szerint az izolátumok többsége kompatibilis volt. Az összes párosítási lehetőségek közül csupán 24 esetben tapasztalt barrier zóna kialakulást. Megállapította, hogy az egymáshoz közeli termőhelyről származó izolátumok között is fellépett inkompatibilis kapcsolat, ami arra enged következtetni, hogy ezeken a területeken többféle genotípus fordulhat elő. A Magyarországon gyűjtött izolátumok kivétel nélkül kompatibilisnek bizonyultak a Szerbiából és Spanyolországból származó vizsgált izolátumokkal. Peirera és munkatársai (2018) szerint, mivel a *M. phaseolina* biológiájából adódóan a gazdanövények föld alatti részeit támadja elsősorban, emiatt a területeken belüli eloszlási képessége korlátozott a legtöbb légi úton is terjedő

kórokozóval szemben. Következésképpen a genetikai áramlás korlátozott a különböző szubpopulációk között. Másrészt, mivel a kórokozó magvakkal is terjedhet, megvan a lehetőség a nagy távolságra történő elterjedésre, ami azt jelenti, hogy földrajzilag elkülönülő helyeken is lehetnek kompatibilis törzsek. Ez a paradoxon magyarázatot adhat az irodalomban a *M. phaseolinára* vonatkozó genetikai variabilitás mértékére (Su és munkatársai, 2001; Almeida és munkatársai, 2003; Gupta és munkatársai, 2012).

Csöndes (2009) szerint a micéliális kompatibilitás eredményei nem egyeztek az izolátumok molekuláris vizsgálatait során kapott eredményekkel. Ellentétes eredményeket kapott a kompatibilitás megléte és annak hiánya esetében a RAPD technológián alapuló dendogramban. Számos izolátum között alakult ki kompatibilis kapcsolat, azonban a dendogramban külön csoportokba kerültek. Megállapította, hogy a micélium kompatibilitást feltehetően több faktor határozza meg, mivel a molekuláris és kompatibilitás vizsgálatok eredményei között nem található szoros korreláció.

2.5. A *Macrophomina phaseolina* genetikai variabilitásának kimutatása PCR technológiákkal

A *M. phaseolina* különböző izolátumai közötti nagymértékű genetikai diverzitást számos tanulmány vizsgálta az utóbbi évtizedekben. Ahogy folyamatosan fejlődnek a molekuláris azonosítási technológiák, mint például az Inter Simple Sequence Repeats (ISSR), Simple Sequence Repeats (SSR), Restriction Fragment a Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) és az Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP), a kórokozó molekuláris jellemzése folyamatosan bővül (Su és munkatársai, 2001; Baird és munkatársai, 2010; Cruz, 2011). Ugyan egy tanulmány beszámolt a kórokozó ivaros alakjáról is, ám az azóta eltelt idő azt látszik igazolni, hogy a kórokozónak nincs ivaros alakja. Az ivaros alak nélküli kórokozók genetikai diverzifikáltsága eltérő lehet, azonban a *M. phaseolina* genetikai vizsgálatakor kapott eredmények szerint ez a kórokozó rendkívül nagymértékű genetikai diverzifikáltsággal rendelkezik. Feltehetően a különböző hifák között létrejövő paraszexuális úton történő genetikai információcsere hozzájárul a nagyfokú variabilitáshoz (Almeida és munkatársai, 2003).

Egyes tanulmányokban (Jana és munkatársai, 2005; Babu és munkatársai, 2010; Mahdizadeh és munkatársai, 2012) a genetikai sokféleséget a gazdanövény eredetével és/vagy földrajzi elhelyezkedésével hozták összefüggésbe, míg más tanulmányokban (Mahdizadeh és munkatársai, 2011; Reznikov és munkatársai, 2018; 2019) az adatok klaszterezése nem tudta egyértelműen megkülönböztetni az izolátumokat patogenitásuk,

morfológiai jellemzőik, gazda- vagy földrajzi eredetük alapján. Számos tanulmány szerint a *M. phaseolina* genotípus eloszlása független a mintavétel helyétől és a gazdaszervezettől (Khan és munkatársai, 2017; Tančić Živanov és munkatársai, 2019).

A *M. phaseolina* morfológiai paramétereken alapuló variabilitásának meghatározása az új fajok és a rendkívüli adaptáló képesség miatt időigényes és gyakorta téves eredményekhez vezet, ezért a fentebb említett molekuláris vizsgálatok elengedhetetlenek (Waalwijk és munkatársai, 2002; Chakravarthi és Naravaneni, 2006; Bakhshi és munkatársai, 2011).

A *M. phaseolina* esetében Jana és munkatársai (2005), Baird és munkatársai (2009), valamint Arias és munkatársai (2011) is alakítottak ki SSR csoportokat, ám eltérő eredményeket kaptak. Jana és munkatársai (2005) Indiában és az USA-ban gyűjtött *M. phaseolina* izolátumokkal kolonizáltak szójabab és gyapot növényeket. Az izolátumokat sikerült csoportosítani külön földrajzi elterjedtség és eltérő gazdanövény szerint (Jana és munkatársai, 2005). Baird és munkatársai (2009), valamint Arias és munkatársai (2011) nem tudtak elkülöníteni filogenetikai Clade-okat, amelyek szorosan korreláltak volna a földrajzi elterjedtséggel és a gazdanövényekkel.

Su és munkatársai (2001) RAPD módszerrel vizsgálták a *M. phaseolina* genetikai variabilitását, megállapították, hogy a gazdanövények szerepe fontos a genetikai sokféleség vizsgálatában. Ugyanazon gazdanövényről származó izolátumok közelebb állnak egymáshoz, mint más gazdanövényekről származó minták. Egy friss tanulmány szerint a *M. pseudophaseolina* genetikai variabilitása is vizsgálható RAPD és ISSR módszerekkel. Da Costa és munkatársai (2020) több, mint 40 *M. pseudophaseolina* izolátumot vizsgáltak, eredményeik szerint mind a két módszer kiváló a genetikai variabilitás tanulmányozásához. A két módszer közül az ISSR markereknek volt jobb a felbontóképességük.

Linhai és munkatársai (2011) AFLP módszerrel vizsgálták a kórokozó genetikai sokszínűségét. Szezám növényekből izoláltak *M. phaseolina* gombát, majd megállapították, hogy hiába ugyanazon gazdanövényről származnak az izolátumok, azok között a variabilitás nagymértékű. Vandemark és munkatársai (2000) hasonló eredményeket kaptak. Megállapították, hogy az AFLP módszerrel biztonságosan azonosítható a faj, de különálló csoportokat nem lehet kialakítani a földrajzi elterjedtség alapján. Almeida és munkatársai (2003), valamint Babu és munkatársai (2010) hasonló eredményekről számoltak be. Különböző gazdanövényeket vizsgálva (cirok, szója,

kukorica) megállapították, hogy a növénytermesztési régiók jellemezhetik a gomba terjedésének határát, és segíthetik az egyes ökológiai típusok kialakulását is.

2.6. A *Macrophomina* genus

A *Macrophomina* genus sokáig monotipikus genusnak számított, azonban Sarr és munkatársai (2014) a *Macrophomina* nemzetségen belül két különböző *Macrophomina* fajról számoltak be. A két faj között morfológiailag alig volt eltérés, csupán a piknokonídiumok megjelenésében volt különbség. Ezek az általuk vizsgált izolátumok Szenegálból származtak. Elvégezték az országokból származó *M. phaseolina* izolátumok öt lókuszon alapuló filogenetikai elemzését. A vizsgálatukban az ACT-512F/ACT-783R, CAL-228F/CAL737R, EF1-728/EF 986R, T1/T22 és ITS5/ITS4 primereket használták. Az eredményeik alapján a *Macrophomina phaseolina* faj mellett a *Macrophomina pseudophaseolina* is a *Macrophomina* genusba tartozik.

A *Macrophomina* genusba tartozó fajok morfológiai azonosítására tett erőfeszítések a mikroszkleróciumok eltérő mérete, a tisztatényészetek változékonysága és a patogenitásban mutatkozó eltérések miatt nem vezettek eredményre. A többi mintaszekvenciákkal összevetett vizsgálatok során megállapították, hogy nem határozható meg külön csoport a földrajzi elterjedtség és a gazdanövények alapján, hasonlóképpen Vandemark és munkatársai (2000) eredményeihez. Kouadri és munkatársai (2021) ITS1-ITS4 primerpárral azonosították a *M. pseudophaseolina* fajt Algériában. Sanabria-Velazquez és munkatársai (2022) a *M. euphorbiicola* fajt azonosították Paraguayban, szintén ITS1/ITS4 primerekkel. A pontos azonosításhoz transzlációs elongációs faktort is használtak, EF-728F, EF2 primerpárt. Zhao és munkatársai (2019) a *M. vaccinii* fajt azonosították Kínában. A molekuláris azonosításhoz több primerpárt is használtak: ITS1/ITS4, EF1-688F/EF1-1251R, Bt2a/Bt2b és ACT-512F/ACT-2RD. A fő azonosító primerpár ebben a kutatásban is a transzlációs elongációs faktor (TEF) volt.

2.7. A betegségek kialakulásának környezeti feltételei

Számos ökológiai tényező befolyásolja a kórokozó mikroszkleróciumainak fennmaradását. E tényezők közül a legjelentősebb a hőmérséklet, a nedvesség és a talaj minősége.

2.7.1. Hőmérséklet

A *M. phaseolina* száraz és félszáraz területeken széles körben elterjedt gomba. Hőmérsékleti optimuma 30-35°C között van (Manici és munkatársai, 1995). Akhtar és munkatársai (2011) laboratóriumi körülmények között 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C és 40 °C-on vizsgálták a gomba növekedését. Megállapították, hogy 24 óra elteltével 25 °C, 30 °C, 35 °C és 40 °C-on nem volt megfigyelhető a gomba növekedése. 10 °C-on micélium még 96 óra elteltével sem fejlődött. A 20 °C, 25 °C, 30 °C és 35 °C-on inkubált tenyészetekben 72 óra elteltével volt kimutatható az első mikroszkleróciumok kialakulása. A mikroszkleróciumok képződése 96 óra elteltével sem volt kimutatható a 15 °C-on és 40 °C-on inkubált tenyészetekben.

2.7.2. Talajnedvesség

Ghaffar és Erwin (1969) megállapították, hogy az alacsony talajnedvesség nagyobb hajlamosító tényező a betegség kialakulásához, mint a magas hőmérséklet, azonban, ha a két tényező együttesen fennáll, a károk még súlyosabbak lehetnek. A *M. phaseolina* fertőzés lényegesen nagyobb mértékben fordul elő, ha a talaj csíranövénykorban száraz (Lodha és Mawar, 2019). Meyer és munkatársai (1973) terepi megfigyelései alapján a talaj mikroszklerócium-sűrűség közvetlenül korrelált a betegség súlyosságával, a gombás fertőzést pedig elsősorban a talajnedvesség befolyásolja. A betegség alacsony talajnedvesség mellett alakult ki, továbbá a talajnedvesség növekedése csökkentette a gazdanövények fertőzésre való érzékenységét. Dhingra és Sinclair (1974) *in vitro* kutatásának eredményei alapján megállapítható, hogy magasabb talajnedvesség mellett baktériumok parazitálhatnak a mikroszkleróciumokban.

Kending és munkatársai (2000) megállapították, hogy öntözött és nem öntözött körülmények között termesztett szója esetében a vetés után 6 héttel mikroszkleróciumok jelentek meg a gyökerekben. A mikroszkleróciumok száma arányosan alacsonyabb volt öntözött körülmények között, és ez a szám meredeken nőtt, amint az öntözést leállították. A tanulmány kimutatta, hogy az öntözés korlátozza, de nem akadályozza meg a gyökérfertőzést. Lodha és Mawar (2019) szerint a talaj szárazsága és a nedvesség ingadozása az elsődleges abiotikus tényezők, amelyek befolyásolják a *M. phaseolina* populációdinamikáját és a betegségek kialakulását.

2.8. A kórokozó által okozott tünetek napraforgón

Olyan fontos napraforgó betegségek, mint a *Diaporthe helianthi* vagy az *Alternaria* spp. hasonló tüneteket okozhatnak, mint a *M. phaseolina*. Az *Alternaria* fajok által okozott levélfertőzést sötét nekrotikus elváltozások jellemzik, barnásszürke központtal és klorotikus széllel (Kim és Mathur, 2006). E két betegség megkülönböztetése érdekében a szárat félbe kell vágni, és nagyító alatt szükséges vizsgálni a bélállományt.

Mukhtar (2010) kimutatta, hogy a betegség korai tünetei nem észlelhetők vizuálisan, mivel a patogén a napraforgót csíranövénykorban fertőzi. A leggyakoribb tünet a növények gyors hervadása, amely általában a beporzás utáni időszakban jelentkezik (Mukhtar, 2010). Su és munkatársai (2001) szerint a fiziológiás érettség felé közeledő növényeken kezdetben észlelt tünetek a növény korai elpusztulása és a tányér átmérőjének csökkenése. Mukhtar (2010) szerint a fertőzött növények korán beérnek, a száron barnától sötétbarnáig terjedő színű foltok jelennek meg. A szár felhasad, és a bélben fekete mikroszkleróciumok jelennek meg. Su és munkatársai (2001) szerint a szár alsó régiójában lévő bélállomány vagy teljesen hiányzik, vagy vízszintes rétegekké préselődik. Gömb alakú, fekete mikroszkleróciumok figyelhetők meg az alsó száron belül, közvetlenül az epidermisz alatt, valamint a karógyökér külső felületén. A szár világosszürke vagy hamvasfekete elszíneződést mutat.

2.9. A kórokozó jelentősége és az általa okozott károk

Ez a széles körben elterjedt növénypatogén gomba jelentős gazdasági károkat okoz számos gazdaságilag kiemelt fontosságú növényben.

A szója az egyik legtöbbet kutatott és vizsgált növény a gazdanövényei közül. Az Amerikai Egyesült Államokban a hamuszürke hervadás a második legjelentősebb szójabetegség volt 2003-ban és 2012-ben, a becsült termés kiesés 1,9 millió, illetve 2,0 millió tonna volt. Romero Luna és munkatársai (2017) szerint az Amerikai Egyesült Államokban 2010-2013 között a hamuszürke hervadás már a legnagyobb termés kiesést okozó öt betegség között szerepelt. Bár a hamuszürke hervadás elterjedése az Egyesült Államok északi részein az elmúlt 30 évben bővült (Birrenkott és munkatársai, 1984; Bradley és Río, 2003; El Araby és munkatársai, 2003; Yang és Navi, 2005; Cummings és Bergstrom, 2013), a legtöbb ezzel a betegséggel kapcsolatos kutatást a déli régiókban végezték, mivel a kórokozónak nagyobb prevalenciája és éves jelentősége van ebben a

régióban (Gangopadhyay és munkatársai, 1970; Shokes és munkatársai, 1977; Mengistu és munkatársai, 2007).

Dél-Afrikában egyre gyakoribb a hamuszürke hervadás előfordulása szójabab és napraforgóban. A fehérjepogácsákban használt szójabab és napraforgóolaj az elsődleges takarmányforrás Dél-Afrikában. A *M. phaseolina* által okozott betegséget általában nem tekintik a szója és a napraforgó fő betegségének, de a gyakoribb szárazságok miatt egyre nagyobb aggodalomra ad okot az iparban. A 2007/2008-as és 2012/2013-as időszakokban 40-70%-os terméseszkedenésről szóló jelentések azt mutatják, hogy a betegségnek pusztító hatása lehet (Coleman, 2013; Janse van Rensburg és Flett, 2012). Van der Waals és munkatársai (2013) szerint az éghajlatváltozás miatt az átlaghőmérséklet 2 °C-kal emelkedik, míg az éves átlagos csapadékmennyiség csökkenni fog. Ez a hatás növelni fogja a hamuszürke hervadás számára optimális körülmények kialakulásának gyakoriságát. Jelenleg korlátozottak az információk a betegség által Dél-Afrikában okozott terméseszkedenés kapcsolatban.

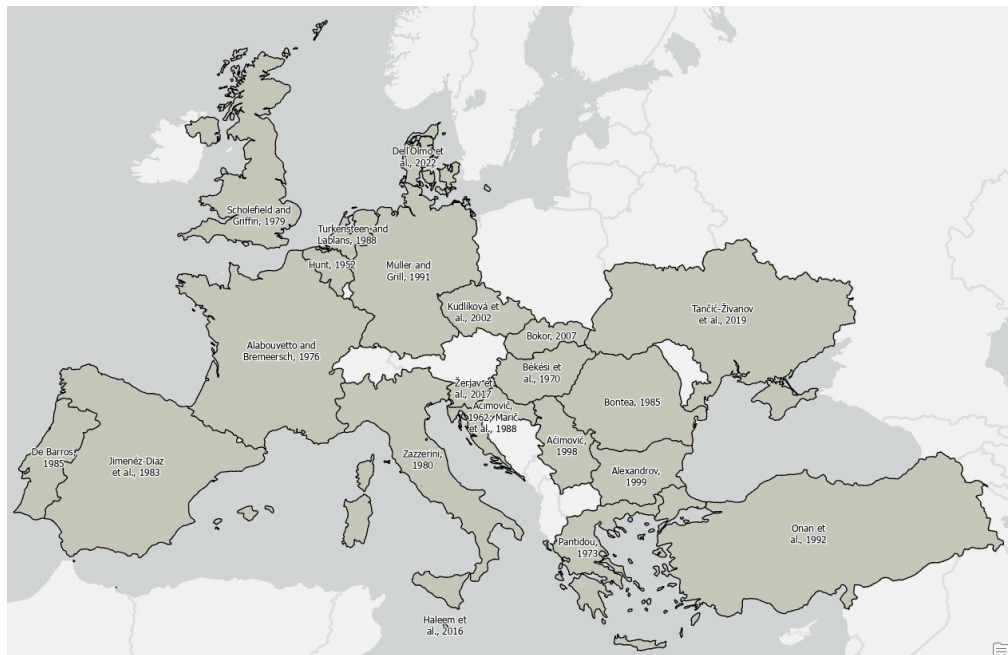
India száraz és félszáraz régióinak bioökológiai tényezői hozzájárulnak a betegség kialakulásához. A tehénborsó (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) esetében a kórokozó 80%-os előfordulását regisztrálták (Lodha és munkatársai, 1986), a napraforgó esetében pedig 30%-os kaszattömeg csökkenést dokumentáltak (Raut, 1981). A szójabab éves termésvesztesége elérheti a 80%-ot (Gupta és Chauhan, 2005). Csicsriborsóban (*Cicer arietinum* L.) közel 40%-os fertőzöttséget mutattak ki (Indira és Gayatri, 2003). A gomba cirokban 23-64%-os termésveszteséget okozott (Harris, 1962). Az indiai ciroktermesztést forradalmasító fajták és hibridek rendkívül fogékonyak bizonyultak a betegségre, és súlyos esetekben 100%-os fertőzöttséget is tapasztaltak (Rao és Balasubramanian, 1983). Mughogó és Pande (1983) 35%-os csökkenést mértek fertőzött cirokmagok tömegében.

Izraelben 2015 és 2019 között 5-ről 23-ra nőtt azon növényfajok száma, amelyekből izolálták a kórokozót, ezáltal a *Macrophomina phaseolina* vált a leggyakoribb fitopatogén gombává az országban az elmúlt 20 évben (Cohen és munkatársai, 2002; Pickel és munkatársai, 2020).

2.10. A gomba európai elterjedése

A kórokozó Európa-szerte elterjedt (3. ábra). A gombát leírták Belgiumban (Hunt, 1952), Horvátországban (Acimovič, 1962; Marič és munkatársai, 1988), Magyarországon (Békési és munkatársai, 1970), Görögországban (Pantidou, 1973), Franciaországban (Alabouvetto és Bremeersch, 1976), az Egyesült Királyságban (Scholefield és Griffin,

1979), Olaszországban (Zizzerini, 1980), Spanyolországban (Jiménez-Díaz és munkatársai, 1983), Portugáliában (De Barros, 1985), Romániában (Bontea, 1985), Hollandiában (Turkensteen és Lablans, 1988), Németországban (Müller és Grill, 1991), Törökországban (Onan és munkatársai, 1992), Szerbiában (Aćimović, 1998), Bulgáriában (Alexandrov, 1999), Csehországban (Kudlíková és munkatársai, 2002), Szlovákiában (Bokor, 2007), Máltán, (Haleem és munkatársai, 2016) Szlovéniában, (Žerjav és munkatársai, 2017), Ukrajnában, (Tančić-Živanov és munkatársai, 2019) és Dániában (Dell'Olmo és munkatársai, 2022)



3. ábra: A *M. phaseolina* Európa-szintű elterjedése

Szerkesztette: Dr. Riczu Péter

2.11. Gazdanövénykör

Ennek az invazív gombának rendkívül széles a gazdanövényköre. Több mint 500 gazdanövénye ismert világszerte köztük számos szántóföldi haszonnövény, zöldség- és gyümölcsfaj, mint például a szójabab (Preston, 1945), a kukorica (Maneval, 1937), a napraforgó (Mackie, 1932), a lucerna (Hoffmaster és munkatársai, 1943), dohány (Reichert és Hellinger, 1947), bab, paradicsom (Small, 1928), burgonya (Ashby, 1927), édesburgonya (Taubenhaus, 1913), alma, körte (Reichert – Hellinger, 1947) és ananász (Thompson és Johnston, 1953). Gyomnövényeken is fellelhető, például a parlagfű (Boewe, 1963) és a kakasvirág fajokon (Nikandrow és munkatársai, 1990), valamint a dísnövényeken is pusztít.

2.12. Magyarországi gazdanövényköre

E rendkívül polifág növénypatogén gombát hazánkban is több gazdanövényén megtalálták. Az első leírás Békési és munkatársai (1970) munkásságához fűződik, akik az ország több területén izolálták a patogént napraforgó (*Helianthus annuus* L.) növényről. Vörös és Manninger (1973) hazánkban az egyik legnagyobb területen termesztett növényről, a kukoricáról (*Zea mays* L.) írták le a kórokozót. Később Érsek (1979a, 1979b) a világszinten az egyik legismertebb gazdanövényről, a szójáról (*Glycine max* (L.) Merr.) izolálta a gombát.

Simay (1987) három új hazai gazdanövényét azonosította a kórokozó gombának, a burgonyát (*Solanum tuberosum* L.), a csicsókát (*Helianthus tuberosus* L.) és a lóbabot (*Vicia faba* L.). Egy évvel később Simay (1990) újabb gazdanövényekről számolt be, köztük két kertészeti kultúrnövény: a bab (*Phaseolus vulgaris* L.) és a fokhagyma (*Allium sativum* L.) esetében talált hervadásos tüneteket. Vizsgálta a gyomos területeket, ahol megállapította, hogy a *M. phaseolina* képes fertőzni a papsajt (*Malva neglecta* Wallr.), az erdei mályva (*Malva silvestris* L.), a foltos bürök (*Conium maculatum* L.), a vadkender (*Cannabis sativa* L. ssp. *spontanea* Sereb.) és a vadpasztinák (*Pastinaca sativa* L. ssp. *pratensis* (Pers.) Celak) gyomnövényeket. Egy évvel később Simay (1991a, 1991b) izolálta a kórokozót két dísznövényről: a dísznapraforgóról (*Helianthus annuus* L.) a pillangó virágról (*Cosmos bipinnatus* Cav.), valamint a máriatövisről (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.). Koppányi és munkatársai (1993) cukorrépáról izolálták a kórokozót, míg Simay és Kadlicskó (1993) a termesztett kenderről (*Cannabis sativa* L. ssp. *sativa*) és a macskagyökérről (*Valeriana officinalis* L.) írták le a gombát. A 2000-es évek előtt Fischl és munkatársai (1995) paprikáról (*Capsicum annuum* L.), Békési és munkatársai (1995) dinnyéről (*Citrullus lanatus* L.) igazolták a gazda-parazita kapcsolatot. Az első fásszárú közlést Vajna és Rozsnyai (1995) tették, akik elsőként igazolták az országban a kajsziabarackon (*Prunus armeniaca* L.) a patogént. Később Fischl és munkatársai (2008) ezüsthégy (*Pinus pungens* Engelm.) gyökeréből detektálták a kórokozót.

Csöndes (2009) mesterséges körülmények között vizsgálta a *M. phaseolina* gazda-parazita kapcsolatot számos növény esetében. A növények magjait tisztatényészetben inkubálta 1 héten keresztül. Megállapította, hogy a *Brachypodium sylvaticum*, a *Cucurbita maxima*, a *Cyperus esculentus*, a *Daucus carota*, az *Elymus caninus*, a *Festuca rubra*, a *Lactuca sativa*, a *Lathyrus sativus*, a *Levisticum officinale*, a *Lolium multiflorum*, a *Lolium perenne*, a *Lotus borbasii*, a *Medicago lupulina*, a

Medicago x varia, a *Phalaris arundinacea*, a *Poa pratensis*, a *Rumex acetosa*, a *Veronica persica* és a *Vicia sativa* kevésbé fogékonyak a kórokozóval szemben. A növények gyengébb fejlődését figyelte meg az *Agropyron cristatum*, az *Agrostis stolonifera*, az *Alopecurus pratensis*, az *Asclepias syriaca*, a *Bromus arvensis*, a *Bromus inermis*, *Festuca pratensis*, a *Festuca pseudovina*, a *Foeniculum vulgare*, a *Lupinus luteus*, a *Petroselinum crispum*, a *Phleum phleoides* és a *Rheum rhabarbarum* esetében, amelyek közepesen voltak fogékonyak a kórokozóval szemben. Erősen fogékonyak bizonyult az *Amaranthus caudatus*, az *Apera spica-venti*, a *Lepidium sativum*, a *Spergula arvensis* és a *Trifolium hybridum* növényfajok. Megállapította, hogy a növények a keléstől számítva a fertőzés következtében nem pusztultak el.

2.13. A vetésváltás

Francl és munkatársai (1988) a vetésforgó hatását vizsgálták a mikroszkleróciumok populációsűrűségére. A legmagasabb mikroszklerócium felhalmozódást szója monokultúra esetében mutatták ki. Ha 2-3 évente volt szója jelen a vetésforgóban, akkor is nagyszámú mikroszkleróciumot figyeltek meg. Abban az esetben, ha a szóját 3 évente termesztették ugyanazon a területen, alacsonyabb mikroszklerócium-sűrűséget találtak, mint amikor 2 évente termesztették ugyanott. Eredményeik azt is kimutatták, hogy a talaj mikroszklerócium-sűrűsége szignifikánsan csökkent, ha a szóját kukorica, gyapot és cirok növények követik a vetésforgóban.

Singh és munkatársai (1990) szerint a fogékony gazdanövények, például a cirok és a galambborsó (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) termesztése a legtöbb vizsgált termesztési rendszerben magasabb mikroszklerócium-sűrűséget eredményezett. Hasonlóképpen, a mikroszklerócium-sűrűség növekedését figyelték meg, amikor a fogékony kukorica és szójafajtákat 3 évig folyamatosan termesztették ugyanazon a táblán (Dhingra és Sinclair, 1978). A fogékony növények, például szójabab, fenyő és juta termesztése szintén növeli a *M. phaseolina* inokulum sűrűségét a talajban (Hodges, 1962; Lodha és Singh, 1985; Tiwari és Shroff, 1982).

2.14. A kórokozó elleni védekezés biológiai módszerekkel

A biológiai védekezés az egyik legígéretesebb stratégiai intézkedés a betegségek előfordulásának csökkentésére és a mezőgazdasági hozam növelésére. A talajban lévő növényi kórokozókkal szemben antagonista tulajdonságokkal rendelkező hasznos mikrobákat alkalmaznak. A növényi kivonatok és mikroorganizmusok, illetve az általuk

kiválasztott anyagok biztonságosan és hatékonyan használhatók a kórokozók ellen (Sreevidya és Gopalkrishnan 2012).

A rizobaktériumok közül a *Pseudomonas* és a *Bacillus* nemzetség fajai bizonyítottan hatékony biokontroll ágensek (BCA) a talajban terjedő kórokozókkal szemben. A *Pseudomonas* és a *Bacillus* fajok számos antibiotikumot termelnek, amelyek negatív hatással vannak a *M. phaseolina* gombára (Dave és munkatársai, 2021). A *Pseudomonas* nemzetség tagjai nagyszámú biokontroll törzset foglalnak magukban, amelyek különböző térfogatú jelentős metabolitokat termelnek, mint például a pirrolnitrin, amely hatékony a *Fusarium* fajok, a *R. bataticola* és más gombakórokozók ellen (Ligon és munkatársai, 2000). Anis és munkatársai (2010) a *Bacillus subtilis* antagonista hatását vizsgálták napraforgóban, és megállapították, hogy a baktérium hatékonyan gátolja a *M. phaseolina* növekedését. Kumar és munkatársai (2015) megállapították, hogy a mungóbab (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) rizoszférájából izolált *B. subtilis* gátolta a *M. phaseolina* növekedését *in vitro*.

Számos *Trichoderma* faj használható potenciális biokontroll ágensként, valamint növekedésfokozóként különféle haszonnövények esetében (Verma és munkatársai, 2007; Bai és munkatársai, 2008; Savazzini és munkatársai, 2009). A *Trichoderma* nemzetségben számos antagonista faj található. Ezt a hatást közvetett (vermottaseny a tápanyagokért és az élettérért) vagy közvetlen (mikoparazitizmus) eszközökkel érik el a gombafajok (Benitez és munkatársai, 2004). A *Trichoderma* fajok hatékonyak lehetnek különféle növények esetében a talajon és/vagy a magon keresztül terjedő gombás kórokozók ellen (Kubicek és munkatársai, 2007). A *Trichoderma* hifái a kórokozó hifái mellett spirálisan nőnek, majd az antagonista által termelt sejtfalbontó enzimek (glükánázok, kitinázok, proteázok) feloldják azok sejtfalát (Bailey és munkatársai, 2008). Az enzimek mellett másodlagos metabolitokat is termelnek többek között izonitrilt, diketopiperazinokat, szeszkviterpéneket, sztemideket, poliketideket, alkilpironokat és peptaibolokat (Degenkolb és munkatársai, 2008).

A *Trichoderma* fajok elkülönítésére használt morfológiai alapok nem elegendők, ezért az utóbbi két évtizedben elkezdődött a *Trichoderma* fajok filogenetikai azonosítása. Számos kutató foglalkozott a *Trichoderma* fajok pontos meghatározásával. Druzhinina és munkatársai (2006), valamint Samuels (2006) 100 *Trichoderma* faj azonosítását és jellemzését végezték el. A nemzetség taxonomiai felépítése rövid idő alatt rendkívül nagy fejlődésen ment keresztül, köszönhetően számos tanulmánynak (Hoyos-Carvajal és munkatársai, 2009; Jaklitsch, 2009; 2011; Gal-Hemed és munkatársai, 2011).

A *Trichoderma Harzianum* fajcsoport (Clade): A taxonómiai felülvizsgálatok során folyamatos átsorolások kezdődtek meg. A *Trichoderma* Clade-ok közül a *Harzianum* Clade a legnépesebb (Jaklitsch, 2009; Druzhinina és munkatársai, 2010). Rifai (1969) a *Trichoderma harzianum*-ot egy halmaz fajnak gondolta, azaz morfológiailag azonos, de biológiailag eltérő fajok összességének. Ma már több olyan *Trichoderma* fajról derült ki, hogy filogenetikailag rokona a *T. harzianum*-nak, amelyek morfológiailag nagyon hasonlóak hozzá (Chaverri és Samuels, 2003). Ezek a fajok tartoznak a *Trichoderma Harzianum* Clade-ba (Jaklitsch 2009). Chaverri és munkatársai (2015) felülvizsgálták a *T. harzianum* taxonómiáját, és a már korábban a komplexumhoz tartozó öt fajon (*T. guizhouense*, *T. harzianum*, *T. inhamatum*, *T. lentiforme*, *T. lixii*) kívül kilenc új fajt (*T. afarasin*, *T. afroharzianum*, *T. atrobrunneum*, *T. camerunense*, *T. endophyticum*, *T. neotropicale*, *T. pyramidale*, *T. rifaii*, *T. simmonsii*) írtak le.

A *Trichoderma harzianum* Rifai antifungális hatását régóta ismerik (Chowdappa és munkatársai, 2013). Izoláltak már talajból, rothadó növényi anyagokból és más gombákból. Hatékonyak bizonyult a talajból fertőző betegségek leküzdésében (Sharma és munkatársai, 2009). A *T. harzianum* gombával kezelt növények esetében abiotikus és biotikus stresszre enyhült az érzékenységük. Sreedevi és munkatársainak (2011) tanulmányai kimutatták, hogy a *T. harzianum* izolátumai sikeresen gátolták a *M. phaseolina* károsítását földimogyoróban. Elad és munkatársai (1986) voltak az elsők, akik arra a következtetésre jutottak, hogy a *T. harzianum* kiváló biokontroll ágens a *M. phaseolina* ellen. A *T. harzianum* izolátumok és a *M. phaseolina* között végzett interakciós vizsgálatokban (hiperparazitizmus, illékony vegyületek termelése) a *T. harzianum* jelentősen gátolta a patogén növekedését (Khalili és munkatársai, 2016). A mezőgazdaságban az egyik legismertebb és leggyakrabban alkalmazott *Trichoderma* tartalmú készítményben tévesen a *T. harzianum* T22-törzset jelölték meg, de valójában *Trichoderma afroharzianum* P. Chaverri, FB Rocha, Degenkolb & I. Druzhinina faj van benne. A *T. afroharzianum*-ot elsőként Afrikában izolálták. A faj 5 °C-on, valamint 35 °C-on is jó növekedési potenciállal rendelkezik, viszont az emberi test hőmérsékletén (37 °C) növekedése lelassul (Kovács és munkatársai, 2021). A faj eredményesen gátolta a *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* és *Sclerotinia sclerotiorum* micélium növekedését *in vitro* körülmények között (Eliassaint és munkatársai, 2021).

A *Trichoderma simmonsii* P. Chaverri, FB Rocha, Samuels, Degenkolb & W. Jaklitsch fajt először tévesen *T. harzianum* néven izolálták rothadó kéregből Samuels és

munkatársai 1991-ben. A Chaverri és munkatársai (2015) által végzett taxonómiai felülvizsgálatkor Emory G. Simmons mikológus nevét kapta. A faj már 5 °C-on is megfelelően növekszik, de 37 °C-on a növekedése lelassul. A két hőmérsékleti érték közötti intervallumban gyorsan növekszik (Kovács és munkatársai, 2021).

A *Trichoderma atrobrunneum* FB Rocha, P. Chaverri & W. Jaklitsch nevét a sötétbarna sztrómáiról kapta. Chaverri és munkatársai (2015) szerint a faj a mérsékelt égövben elterjedt, faanyagon és más gombákon növekszik. Kovács és munkatársai (2021) szerint az általa vizsgált törzsek növekedése 30 °C-on lelassul.

A *Trichoderma Viride* Clade: A *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt és Nirenberg -et a *T. viride* taxonómiájának újvizsgálatakor írták le (Samuels és munkatársai, 1999). A faj törzsen belül a genetikai variabilitás rendkívül nagymértékű, ezáltal a biológiai és biokémiai aktivitásaik megértése fontos folyamat a megfelelő izolátumok kiválasztásához, amelyeket a biológiai védekezésben a későbbiekben biztonsággal használhatnak. Ezek az információk elengedhetetlenek az új biológiai készítmények kifejlesztéséhez (Consolo és munkatársai, 2012). Az *T. asperellum* jelentős kutatási figyelmet kapott az elmúlt évtizedben. A faj fontos szerepet játszik a növények növekedésének javításában és a gombatoxinok lebontásában. Növeli a növények kórokozókval és a környezeti stresszel szembeni ellenállóságát, valamint szerepet játszik a talaj tápanyagainak oldásában és a tápanyagfelvétel fokozásában, úgy, hogy fokozza a gyökérszőrök képződését (Nicolás és munkatársai, 2014).

A Pastrana és munkatársai (2016) által végzett vizsgálat eredményei kimutatták, hogy a *T. asperellum* T18 törzsön alapuló kereskedelmi készítmény alkalmazása csökkenti a *M. phaseolina* által okozott károkat eperben.

A *Trichoderma gamsii* Samuels & Druzhin a *T. viride* és a *T. atroviride* morfológiailag és filogenetikailag közeli rokonok (Jaklitsch és munkatársai, 2006). Egy 2006-ban leírt faj, amely azóta több bejegyzett, kereskedelmi forgalomban kapható biokontroll termékekben is megtalálható. Használható a *Fusarium graminis*, *Rhizoctonia* spp. és *Pythium* spp. gombás eredetű megbetegedések ellen (Woo és munkatársai, 2014). A *Trichoderma Longibrachiatum* Clade: A Longibrachiatum Clade-hoz tartozó egyes fajok potenciális humán kórokozók lehetnek, amelyek légúti megbetegedéseket okozhatnak immunhiányos betegekben (Burrell, 1991; Samuels és munkatársai, 1998; Kratzer és munkatársai, 2006; Sandoval-Denis és munkatársai, 2014). A *Trichoderma orientale* (Samuels & Petrini) Jaklitsch & Samuels fajt elsőként *Hypocrea orientalis* Samuels & Petrini néven írták le. (Samuels és munkatársai, 1998). Ez a szubtrópusi faj

közeli rokona a *Trichoderma longibrachiatum*-nak. A *T. longibrachiatum*-ot izolálták már leukémiában szenvedő gyermekből. A két faj genetikailag és morfológiailag közel áll egymáshoz (Kuhls és munkatársai, 1999). Kovács és munkatársai (2021) szerint a *T. orientale* 37 °C-on is kiválóan növekszik, ezért a vizsgálata különös körülményt igényel, a potenciális humánpatogén mivolta miatt.

2.15. A kórokozó elleni védekezés lehetőségei kémiai módszerekkel

Lokesh és munkatársai (2020) különböző szisztémikus (azoxistrobin, karbendazim, hexakonazol, propiokonazol, tebukonazol, tiofanát-metil, difenokonazol) és kontakt (réz-oxiklorid, mankoceb, propineb, tiram, klórtalonil) növényvédő szer hatóanyagokat vizsgáltak *in vitro* körülmények között a *M. phaseolina* gombával szemben. Megállapítást nyert, hogy a szisztémikus fungicidek koncentrációjának növekedésével a micéliumnövekedést gátló hatásuk is nőtt. A kontrollhoz képest a karbendazim produkálta szignifikánsan a legnagyobb százalékos növekedési gátlást 50 ppm-nél (82%), ezt követte a tiofanát-metil 79%-os hatékonysággal. 500 ppm-nél a karbendazim produkálta a legmagasabb, 92%-os micéliumnövekedés-gátlást, a második leghatékonyabb a tiofanát-metil volt 85%-os gátlással. Ezeket az eredményeket alátámasztják Chattopadhyay és Kalpana (2002), Khan és Gangopadhyay (2008), Kumari és Shekhawat (2012), valamint Ebenezer és Wesely (2000) hasonló megállapításai, amelyek szerint a karbendazim teljesen gátolja a *M. phaseolina* növekedését. A kontakt gombaölő szerek jelentősen gátolták a gomba növekedését. A legnagyobb százalékos növekedésgátlást 1000 ppm-nél a mankoceb esetében figyelték meg (83%). Ugyanebben a koncentrációban a klórtalonil (79%), a zineb (71%), a tiram (65%) és a propineb (42%) mérsékelten hatékonyan gátolta a gombák növekedését. A kén (12%) volt a legkevésbé hatékony a növekedés gátlásában.

Ravichandran és Hedge (2017) hasonló megfigyeléseket végeztek, mivel azt találták, hogy a klórtalonil és a mankoceb 0,2%-os koncentrációban hatékonyan gátolja a gombák növekedését (Lokesh és munkatársai, 2020). Maruti és munkatársai (2017) arról számoltak be, hogy 0,3%-os koncentrációban a mankoceb és a tiram 100%-os növekedésgátlást produkált. Sangappa és Mallesh (2016) eredményei alapján a tiofanát-metil 100%-os micéliumnövekedés-gátlást mutatott 0,1, 0,2 és 0,3%-os koncentrációkban.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kórokozó elterjedtsége és az általa okozott tünetek vizsgálata

3.1.1. Minták gyűjtése

A kórokozó elterjedését 2019-2022 között vizsgáltuk minden év augusztusa és októbere közötti időpontokban a Kárpát-medence különböző helyszínein. Célunk volt a kórokozó széleskörű elterjedésének igazolása a Kárpát-medencében. A vizsgálatokhoz begyűjtött minták napraforgó növényekről származtak, amelyeket véletlenszerűen kiválasztott táblákból izoláltunk. Egy területen legalább 20 növényt vizsgáltunk. A vizsgált területek mérete eltérő volt. Általában 20-30 méter hosszan vizsgáltunk 2 párhuzamos sort. A napraforgó növények szárának alsó egyharmadát félbevágtuk, majd, ha azok mikroszkleróciummal voltak teltek steril dobozokba helyeztük a szárdarabokat. A dobozok sötét körülmények között 25°C-on voltak tárolva a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetében.

3.1.2. A kórokozó által okozott tünetek azonosítása napraforgón szántóföldi körülmények között

Célunk volt meghatározni a kórokozó által okozott tüneteket Syngenta NK Neoma hibriden napraforgón. A napraforgó növényeken megjelent tüneteket 2021-ben vizsgáltuk egy teljes vegetációs periódusban Debrecen határában. A random módon kiválasztott területen 4 parcellát jelöltünk ki. Egy parcella mérete 20 méter hosszú és 6 sor volt. Egy parcellában 20 növényt jelöltünk meg, majd hetente vizuálisan ellenőriztük a megjelent tüneteket. A napraforgó vetése május másodikán történt 57.000-es tőszámmal, a betakarítás október 14.-én történt. A területen a gyomírtás mellett nem történt gombaölőszeres kezelés.

3.1.3. A napraforgó hibrid jellemzése

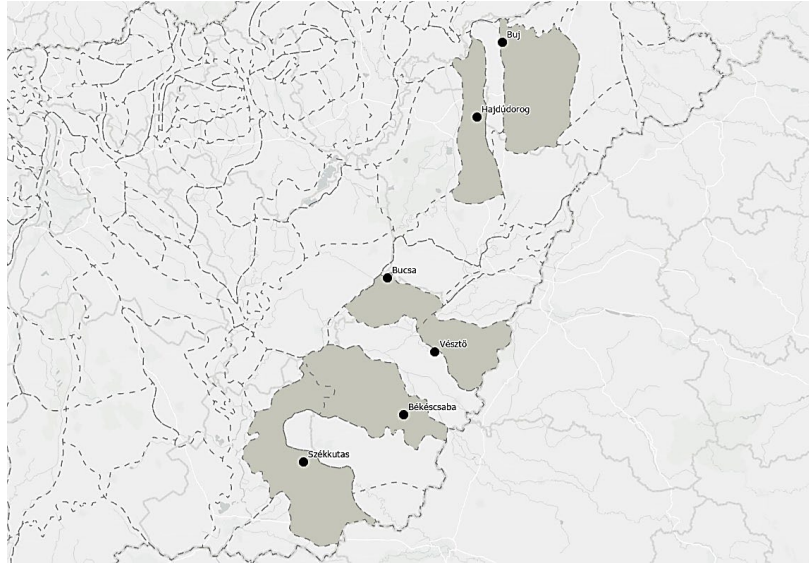
A vizsgáltba vont napraforgó hibrid a Syngenta NK Neoma, magas termés potenciállal rendelkezik. Kiemelkedően magas az ezerkaszattömege. A hibrid *Sclerotinia sclerotiorum* és a *Diaporthe helianthi* elleni tolerancia szintje valamivel alacsonyabb az átlagosnál. Az átlagosnál gyengébb toleranciát mutat a *Macrophomina phaseolina* kórokozóval szemben, különösen hőstresszes időszakban. A *Plasmopara halstedii* Magyarországon leírt összes patotípusaival (100, 700, 730, 710, 330) szemben

rezisztens. Gyomirtásánál Clearfield technológia alkalmazható (imidazolinon rezisztencia). A hibridet átlagosnál rövidebb tenyészidő jellemzi. Magyarországon az ajánlott vetési ideje április 10. és május 10. között van. Nagyon érzékeny a szárazságra és a hőstresszre, amire koraéréssel reagál. A növénymagasság alacsony, a hibrid korán virágzik, a tányérok bókolnak (Internet 1).

3.2. A kórokozó által okozott károk felmérése

2019-2020-ban összesen 12 területen az ország keleti régiójában (4. ábra) vizsgáltuk a NK Neoma napraforgó hibrid *Macrophomina phaseolina* fertőzöttségét. A felmérések során mind a két évben 1-1 ha területen 100 véletlenszerűen kiválasztott növényt vizsgáltunk Szendrő (1980) módszere alapján. A vizsgált növények szárának alsó egyharmadát (50-60 cm magasságig) kettévágtuk. Abban az esetben, ha mikroszkleróciumokat találtunk a növényt fertőzött kategóriába soroltuk. A mikroszkleróciumok hiányában a növényt egészséges kategóriába soroltuk. A felvételezett növények tányérátmérőit lemértük két merőleges átlójuk mentén, majd a tányérokot levágtuk. A tányérokot egyenként kicsépeztük, és külön-külön szobahőmérsékleten tároltuk. Valamennyi minta esetében a kívánt nedvesség elérése érdekében szartószekrényben 4%-ra csökkentettük a kaszatok nedvességtartalmát. Lemértük a tányérokban fejlődött kaszatok összömegét, valamint azok ezerszemtömegét. A fertőzött és egészséges növényekből származó kaszatok olajtartalmát is meghatároztuk (Granolyser). Területenként véletlenszerűen kiválasztottunk 5-5 fertőzött és egészséges kaszatos és megmértük azok olajtartalmát.

A felmérési helyszínekhez legközelebbi meteorológiai állomás adatait használtuk fel (KITE PrecMet agrometeorológiai állomáshálózata). A vegetációs időszak (április-szeptember) átlaghőmérsékletét, hőségnapjainak számát és a csapadék eloszlását regisztráltuk és elemeztük.



4. ábra: A 2019-es és 2022-s évben végzett felmérések területei a kistárségek megjelölésével. Szerkesztette: Dr. Riczu Péter

3.3. A kórokozó kompatibilitásának, mikroszklerócium átmérőinek és molekuláris biológiai vizsgálata

3.3.1. Tisztatenyészetek készítése

A tisztatenyészeteket a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetének növénykórtani laboratóriumában állítottuk elő. Steril dobozokban tárolt fertőzött növényi részekből laboratóriumi körülmények között Petri csészékbe töltött PDA (Potato Dextrose Agar) táptalajra helyeztünk mikroszkleróciummal erősen fertőzött bélállomány darabot. A tenyészeteket sötét körülmények között 30 °C-on 4 napon keresztül inkubáltuk. A 4. napon az aktív növekedési zónából micéliumdarabokat vágunk ki, és azokat 20 ml mennyiségű dermedt PDA táptalajra oltottuk, majd 30 °C-on sötét körülmények között 7 napon keresztül inkubáltuk termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i). A gyűjtött izolátumok tartós tárolásának érdekében valamennyi izolátumból 4-4 kriol csövet 50-50%-os glicerinnel oldattal töltöttük meg, és a kriol csöveket -80°C-on (Froilabo Essential 340L) tároljuk a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetének laboratóriumában.

3.3.2. A mikroszkleróciumok méretének vizsgálata

Valamennyi gyűjtött izolátum szárában talált, valamint a laboratóriumban tisztatenyészetekben fejlődött mikroszkleróciumok (n=50) átlagos átmérőit megmértük.

A mérést két egymásra merőleges átmérőn mikroszkóp (Nikon Eclipse Ni) segítségével végeztük. A kapott adatokat átlagoltuk.

3.3.3. Az izolátumok micéliális kompatibilitási vizsgálata

Valamennyi vizsgált izolátumból készített tisztatenyészetet Petri-csészékben egymással teszteltünk kompatibilitásuk megállapítása céljából. A vizsgálatokat Csöndes (2011) módszere alapján végeztük. Egy Petri-csészébe egymás mellé három izolátumot helyeztünk, az izolátumok összes lehetséges kombinációjában. Az izolátumokat tartalmazó Petri-csészéket sötét körülmények között 30 °C-on 10 napig inkubáltuk termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i). Ezt követően az izolátumok között kialakult hifa-anasztomózisokat mikroszkóp alatt vizsgáltuk (Nikon Eclipse Ni). Az anasztomózisok képződése mikroszkóp alatt jól megállapítható, ezért azokat az izolátumokat, amelyek egymással szemmel látható anasztomózisokat képeztek kompatibilisnek ítéltük meg.

3.3.4. A kórokozó molekuláris biológiai vizsgálata

Előre sterilizált 250 ml-es Erlenmeyer lombikokban 100 ml Czapek-Dox Broth táptalajt főztünk autoklávban (Raypa Steam Sterilizer). Valamennyi izolátum tisztatenyészeiből származó (aktív növekedési zónáiból) hifavégeket oltottunk a CDB táptalajokba. Az oltott táptalajt tartalmazó lombikokat Orbital Shaker-Incubator ES-20 rázógépből 170 rpm-en 30 °C-on 7 napon keresztül sötét körülmények között inkubáltuk. A vizsgálati anyag szilárd és folyékony fázisát egymástól vákuumszűrővel választottuk el. A mikroszkleróciumokkal átszött micélium szöveteket steril centrifuga csövekben (-20°C-on) tároltuk a PCR vizsgálatig.

A DNS izoláláshoz a fagyasztóban tárolt izolátumok mikroszkleróciummal átszött micélium darabjait steril kerámia gyöngyös feltáró csövekbe (Bashing Beads 2.0 mm dry, Biocenter) helyeztük. A feltáró csövekbe a Macherey-Nagel Nucleospin Plant II DNS izoláló KIT protokollja (1. melléklet) szerinti sejtfeltáró folyadékot pipettáztuk. A kerámia gyöngyös feltáró csöveket Disruptorba (Disruptor Genie) helyeztük. A Disruptor forgó mozgása a kemény kitaróképleteket 8-10 perc alatt morzsolta, ezáltal nagy mennyiségű tiszta DNS-t kaptunk. A DNS izolálást a KIT-ben lévő anyagokkal és a hozzá szükséges eszközökkel végeztük. Az izolált DNS mintákat -20 °C-on tároltuk.

Az izolátumokból származó tiszta DNS koncentrációját Nanodrop 200 készülék (Thermo Scientific, USA) segítségével határoztuk meg 2 µl térfogatú izolált DNS-

oldatból. Ha szükséges volt nukleázmentes vízzel hígítottuk a megfelelő koncentrációra. A PCR csövekbe 25 µl DreamTaq-ot (Thermo Fisher Scientific), 21 µl nukleázmentes vizet, 1-1 µl primert (Bio-Science) és 2 µl templát DNS-t pipettáztunk. A fajsintű azonosításhoz szükséges primer párok a következők voltak: ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'), valamint az EF-728 (5'-CATYGAGAAGTTCGAGAAGG-3') EF2 (5'-GGARGTACCAGTSATCATGTT-3'). A PCR program a következő volt: 94 °C-on 5 perc, 35 cikluson keresztül 94 °C 2 percen át, 53 °C 2 percen át, 72 °C 2 percen át, majd 35 ciklust követően 72 °C 30 percen át. A PCR termékek tárolása 4 °C-on történt.

A gélhez 0,8 gramm agaróz port kevertünk el 80 ml 1%-os TBE pufferral. Az oldatot víztisztára hevítettük, a hevítést követően 5 percig állni hagytuk az oldatot, majd 0,4 µl EcoSafe festéket pipettáztunk hozzá. A szilárdulást követően 50 Volton (Hofer Scientific Mighty Slim SX250 DC Power Supply) 80 percig futtattuk a DNS-t, folyamatos ellenőrzés mellett.

A PCR termékeket Clean-Up (Macherey-Nagel) KIT-tel tisztítottuk a gyártó utasításai szerint (2. melléklet). A minták DNS koncentrációját Nanodrop 200 készülék (Thermo Scientific, USA) segítségével határoztuk meg 2 µl térfogatú izolált DNS-oldatból. A koncentráció arányában hígítottuk a beküldéshez szükséges mintákat. A szekvenálást a Microsynth Austria végezte. Az ITS1-TS4 primerpárookra végzett PCR termékek esetében a szekvenálás az ITS1 primerre történt, míg a TEF primerek esetében mind a két irányból olvastuk a szekvenciákat, tehát az EF-728-as és az EF2-es primerre is megszekvenáltuk a termékeket.

Az izolátumok szekvenciáit a Microsynth Austria megküldte számunkra. A szekvenciákban fellépő esetleges hibákat Chromas kromatogramolvasó programban ellenőriztük és a kapott szekvenciákban manuálisan javítottuk. A javított szekvenciákat az NCBI adatbázisába feltöltöttük.

A szekvenciák összerendezését ClustalX programban végeztük (Higgins és Sharp, 1988; Thompson és munkatársai, 1997; Larkin és munkatársai, 2007). A rendezett szekvenciákat a GeneDoc programban manuálisan végeztük el a szekvenciák finomítását (Nicholas és munkatársai, 1997). A törzsfát a MEGA X programban készítettük el. A fajsintű azonosításhoz ugyanazon izolátumok ITS és TEF szekvenciáit használtuk (3. melléklet). Az ITS szekvenciákra a MEGA X program a Jukes-Cantor (JC) törzsfamodelt, a TEF szekvenciákra a Kimura 2 (K2) törzsfamodelt javasolta a program. Az

egyek fajok közötti rokonsági viszonyok meghatározása Neighbor-Joining statisztikai módszerrel, Bootstrap (1000 ismétléssel) analízissel készült.

3.4. A patogén elleni biológiai védekezési lehetőségek vizsgálata

Tisztatényészetet készítettünk a következő készítményekből: Trifender (*T. asperellum* T34-es törzse), Tigra (*T. asperellum* T1-es törzse), Trianum P (*T. harzianum* T22). A kísérletbe vont *Trichoderma* fajokat a 1. táblázat ismerteti részletesen. Valamennyi készítményből 1%-os sóoldatban feloldottunk 3 gramm spórát, szobahőmérsékleten 5 percig inkubáltuk, majd 8 µl-t pipettáztunk belőle PDA táptalajra. Ezt követően a tenyészeteket 7 napon keresztül sötét körülmények között 25 °C-on termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i) inkubáltuk.

A Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Élelmiszertudományi Intézet Mikrobiológiai csoportja által tárolt ferde agarokról oltókacs segítségével micélium darabokat oltottunk PDA táptalajra. A kísérletben Kovács és munkatársai (2021) által szabadalmaztatott Tricho Immun készítmény két fajtát: a TR04 (*T. afroharzianum*) (NCAIM (P) F 001456) és a TR05 (*T. simmonsii*) (NCAIM (P) F 001457), valamint az általuk izolált TR06 (*T. orientale*) TR07 (*T. harzianum*) és TR08 (*T. gamsii*) (NCAIM (P) F 001458) használtuk.

1. táblázat: A kísérletben használt *Trichoderma* fajok jellemzése

Faj	Clade	Izolátum/törzs azonosító	NCBI azonosító
<i>T. simmonsii</i>		TR05	OK655889
<i>T. afroharzianum</i>	Harzianum	TR04	OK655888
<i>T. harzianum</i>		T-22/Trianum P	-
<i>T. harzianum</i>		TR07	OK655891
<i>T. gamsii</i>		TR08	OK655892
<i>T. asperellum</i>	Viride	T1/Tigra	-
<i>T. asperellum</i>		T34/Trifender Pro	-
<i>T. orientale</i>	Longibrachiatum	TR06	OK655890

Petri-csészébe 20 ml PDA táptalajt öntöttünk, majd 7 napos tenyészetből származó 5 mm átmérőjű kórokozó korongot helyeztünk az előre kijelölt helyre, majd a korongtól 3 cm-re szintén 7 napos tenyészetből származó antagonista korongot helyeztünk. Az elkészült Petri-csészéket a patogén számára optimális 25 °C-on sötét körülmények között inkubáltuk. A telepeket több napon keresztül ugyanabban az időpontban mértük. A vizsgálat utolsó napján a kórokozó és antagonisták közötti kölcsönhatást mikroszkóp segítségével ellenőriztük. A mért eredményekből gátlóhatást és Biokontroll indexet számoltunk.

A gátlóhatást a 3. napon mért adatok alapján adtuk meg, mivel erre a napra a kontroll Petri-csészében lévő kórokozó teljesen benőtte a táptalajt. A százalékos gátlóhatást a Vincent (1947) formula nyomán számoltuk ki.

$$I\% = \frac{C - T}{C} * 100$$

ahol, I%= Gátlóhatás (%) C= kontroll telepátmérő (mm) T=gátolt telep átmérője

A biokontroll indexet a 3. és a 7. napon mért eredmények alapján adtuk meg. A Biokontroll indexet a következő képlet alapján számoltuk ki.

$$BCI\% = \frac{dA}{dA + dP} * 100$$

ahol, BCI%= Biokontroll index (%) dP=Patogén növekedése (mm) dP=Antagonista növekedése (mm)

3.5. A patogén elleni kémiai védekezési lehetőségek vizsgálata

3.5.1. A patogén elleni kémiai védekezés *in vitro*

A vizsgálatban 5 ismétlésben 8 gombaölő szer hatóanyagot teszteltünk 3 dózisban *in vitro*. A dózisok meghatározásához az engedélyokiratban szereplő maximális kijuttatható dózist vettük alapul. Az első koncentráció a kijuttatható legmagasabb dózis, a második a legmagasabb dózis fele, míg a harmadik a negyede (2. táblázat).

2. táblázat: Felhasznált hatóanyagok és koncentrációk 20 ml táptalajra vetítve

Hatóanyag	Dózis	100%-os dózis	50 %-os dózis	25 %-os dózis
azoxistrobin	1 l/ha	80 µl	40 µl	20 µl
boszkalid	0,5 kg/ha	0,4 g	0,2 g	0,1 g
benzovindiflupír	0,75 l/ha	60 µl	30 µl	15 µl
fluopiram	0,60/ha	12 µl	6 µl	3 µl
prokloráz	1 l/ha	80 µl	40 µl	20 µl
protiokonazol	0,8 l/ha	64 µl	32 µl	16 µl
piraklostrobin	1 l/ha	80 µl	40 µl	20 µl
tebukonazol	1 l/ha	66,6 µl	33,3 µl	16,65 µl

Forrás: saját szerkesztés

A kémiai hatóanyagok vizsgálatát ún. mérgezett táptalaj teszttel vizsgáltuk. Mivel a növényvédő szerek nem hőstabil vegyületek, az olvasztott táptalajt 50°C-ra állítottuk be vízfürdő (Bio Ra Water Bath) segítségével. A kívánt hőmérsékletre beállított táptalajba mágneskeverőn (Velp Scientifica, Heating Magnetic Stirrer) állandó keverés mellett pipetta segítségével adagoltuk a dózisokhoz szükséges fungicid mennyiséget. A Petri-csészékbe valamennyi esetben 20 ml mérgezett táptalaj került, míg a kontroll táptalajok esetében a megfelelő mennyiségű steril víz. Az UV fény alatti dermedést követően a Petri-csésze közepére egy 7 napos *M. phaseolina* tisztatenyészetből származó 5 mm átmérőjű micélium korongot helyeztünk. A micélium növekedését a harmadik napon, míg a mikroszklerócium képződést az ötödik napon két merőleges átló mellett mértük, majd gátlóhatást számoltuk. Az eredményeket %-ban adtuk meg. A százalékos gátlóhatást a Vincent (1947) formula nyomán számoltuk ki.

$$I\% = \frac{C - T}{C} * 100$$

ahol, I%= gátlóhatás (%), C= kontroll telepátmérő (mm), T= mérgezett táptalajon nőtt telepek átmérője (mm)

3.5.2. Prokloráz hatóanyag tesztelése Petri-csészékben

A prokloráz hatóanyag csírázásra és a *M. phaseolina* kórokozóra gyakorolt hatását először Petri-csészékben vizsgáltuk. A választott hibrid kaszatjait 4 különböző dózisban teszteltük, segédanyag nélkül. Motta és munkatársai (1996) szerint a proklorázzal történő csávázás hatékony lehet számos talajból fertőző gombás fertőzés ellen (*Fusarium* spp. *Phoma* spp.). A csávázásra Olaszországban engedélyezett Octave készítményt (prokloráz tartalma 46,1%) használtak Gilardi és munkatársai (2005). Csávázásra saláta vetőmag esetében 184,4 ml/100 kg dózist használtak. Vetőburgonya esetében 300g/1000 kg vetőburgonya dózist határoztak meg 2-3 liter víz felhasználásával. Az Octave fungicid engedélyokirata viszont nem terjedt ki napraforgóra. Az irodalmi forrásokat alapul véve meghatároztunk 4 dózist: 0,6, liter 1 t^{-1} ; 0,3 liter 1 t^{-1} ; 0,15 liter 1 t^{-1} ; 0,075 liter 1 t^{-1} . A csávázott, csak vízzel kezelt és kezeletlen kontroll kaszatokat 7 napos PDA táptalajon növekedett mikroszkleróciummal átszótt tenyészetekre helyeztük, valamint ugyanennyi Petri-csészét teszteltük kórokozó nélkül. Egy Petri-csészébe 7 kaszat került. A Petri-csészéket ezután termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i) inkubáltuk 25°C-on 10 napig. Vizsgáltuk a mikroszkleróciók megjelenését a kaszatokon.

3.5.3. A prokloráz hatóanyag tesztelése tenyészedenyekben

A korábban gyűjtött izolátumok közül a DENI_Macpha026-os izolátumot választottuk a fertőző anyag előállítására. A teszteléshez homok-kukorica táptalajt készítettünk. Laboratóriumban használandó steril tengeri homokból 90 g-ot, kukorica darából 10 g-ot és desztillált vízből 20 ml-t mértünk ki 250 ml-es steril Erlenmeyer lombikokba (Prasad és munkatársai, 2013), majd a táptalajt autoklávban összefőztük. A kihűlt táptalajokra 5 mm átmérőjű mikroszkleróciummal átszótt agarkorongot helyeztünk. A lombikokat sötét körülmények között 10 napig inkubáltuk termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i) 30 °C-os hőmérsékleten.

A szisztémikus csávázó szereket nem lehet lemosni, ezért azok jelenléte zavarja az eredmények megbízhatóságát, ezért csávázatlan vetőmagot használtunk. A Syngenta NK Neoma hibrid csávázatlan formában is elérhető, ezért ezt vizsgáltuk a kísérlet során. A talajból fertőző károsítók esetleges jelenléte ellen a használni kívánt virágföldet autoklávban (Raypa, Steam Sterilizer) 3-szor sterilizáltuk. Minden tenyészedenybe 50 gramm sterilizált földet tettünk. A magokat 4 cm mélyre vetettük, majd 10 ml autoklávban 1x sterilizált csapvízzel öntöttük azokat. A magok csírázását és előnevelését a Növényvédelmi Intézet növénynevelő kamrájában végeztük 12 napon keresztül. Az

egészséges és megfelelő gyökérhosszúságú növényeket ezután 100 grammos sterilizált virágfölddel telt tenyészedénybe ültettük, majd inkubáltuk 7 napig.

A korábban tesztelt 4 koncentráció közül a 0,6 l t⁻¹-os és a 0,3 l t⁻¹ koncentrációt teszteltük tenyészedényes kísérletben. Magyarországon a prokloráz, mint csávázószer nem volt forgalomban, ezért 1 liter/tonna dózisú Peridiam Eco Red segédanyaggal együtt csáváztuk be a magokat laminális boxban. Vizsgáltuk a prokloráz hatását a növényekre és a kórokozóra egyaránt. Beállítottunk egy kezeletlen kontrollt, valamint egy kezeletlen kontroll + talajba kevert mikroszkleróciummal kevertet is. Valamennyi csoportból 26-26 tenyészedényt állítottunk be. A növények három hetes korukban kerültek a Növénytudományi Intézet Alkalmazott Növénybiológiai Tanszék növénynevelő kamrájába. A növénynevelő kamrában 12 órás megvilágítás mellett 25 °C-os hőmérsékletet állítottunk be. A tenyészedények a kamrában randomizált elhelyezésben voltak. A növényeket hetente két alkalommal öntöttük sterilizált csapvízzel.

A növények egészségügyi állapotát hetente figyeltük. A növények gyökérnyaki részéből metszetet készítettünk, amiket megfestettünk Laktofenolos gyapotkék festékkel. A metszeteket mikroszkóp (Nikon Eclipse Ni) vizsgáltuk. A félbevágott gyökérnyakat Neomagnolos vízben sterilizáltuk, majd PDA táptalajra helyeztük. A Petri-csészéket inkubáltuk 7 napig termosztát szekrényben (Cooled Incubator FOC 225i), és értékeltük az eredményeket. A kísérlet 2+4 héten át zajlott.

3.5.4. A prokloráz hatékonyságának tesztelése szántóföldi körülmények között

A növénynevelőben kapott eredmények alapján beállított szántóföldi kísérlet 2021-ben történt Debrecen külterületén.

Az elővetemény kukorica volt. Összesen 16 parcella került beállításra, ahol 4 parcella kontroll (csávázatlan) 4 parcella kontroll (csávázatlan) egy alkalommal állománykezelt, 4 parcella csávázott és 4 parcella csávázott és állománykezelt területek lettek beállítva random elhelyezésben (5. ábra).

Az állománykezelés dózisa az engedélyokiratban meghatározott 1 l/ha volt. Valamennyi parcella 6 sor széles és 40 méter hosszú volt. A szélső parcellák mellett 12 db védősor helyezkedett el. Vizsgáltuk a csávázó szer (0,3 l/t vetőmag + 1 l/t Peridiam Eco red) és a állománykezelés hatékonyságát a kórokozó megjelenésére és károsítására.

	Védősor				
V	Csávázatlan I.	Csávázott II.	Csávázatlan + felületkezelt III.	Csávázott + felületkezelt IV.	V
é	Csávázatlan + felületkezelt I.	Csávázott + felületkezelt II.	Csávázatlan III.	Csávázott IV.	é
d	Csávázott + felületkezelt I.	Csávázatlan + felületkezelt II.	Csávázott III.	Csávázatlan IV.	d
ő	Csávázott I.	Csávázatlan II.	Csávázott + felületkezelt III.	Csávázatlan + felületkezelt IV.	ő
s					s
o					o
r					r
	Védősor				

5. ábra: A prokloráz, mint csávázó és minr állománykezelő szer tesztelésének kísérleti tervre szántóföldi körülmények között (Debrecen 2021)

A kísérlet beállítása 2021 május 11.-én történt 6 soros vetőgéppel. A kísérletet hetente ellenőriztük. Az állománykezelés időpontja: 2021. július 07. A kísérlet értékelése szeptember 18-án történt. Valamennyi parcellából 100 növény egészségügyi állapotát vizsgáltuk a korábbi fejezetben (3.3.1) taglalt módszer szerint.

3.6. Adatelemzés/statisztikai próbák

A kutatásban gyűjtött adatokat valamennyi esetben Statistica 7 szoftver alkalmazásával elemeztük.

A 12 területen végzett felmérések során a fertőzésre gyakorolt hatások között vizsgáltuk a napraforgó gyakoriságát a vetésforgóban. Az időjárási viszonyokat az éves csapadékkal, a vegetációs időszakok középhőmérsékletével, valamint a hőségnapok számával jellemeztük a vizsgált években. A fertőzött és egészséges populációk értékeit t-próbával hasonlítottuk össze, ha adataink megfeleltek a parametrikus tesztek feltételezésének. A varianciák homogenitását Levene-próbával, míg a normál eloszlást Q-Q diagramokkal vizsgáltuk. A többi esetben nem parametrikus Mann-Whitney U-tesztet alkalmaztunk $p < 0,05$ szignifikancia szinten. Az időjárási paraméterek és a fertőzési arány közötti összefüggést lineáris regresszióval elemeztük.

A biológiai és kémiai védekezésben használt statisztikai próbák első lépése a normalitás meghatározása volt a hisztogramok segítségével, majd a Levene teszt értéke alapján igazoltuk a szórások egyenletességét. Amennyiben a parametrikus tesztek feltételeinek megfeleltek az adatsorok akkor ANOVA és Tukey post hoc tesztet végeztünk. Ha az adatsorok nem feleltek meg a parametrikus tesztek feltételeinek Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U tesztet végeztünk.

A szántóföldi védekezésnél használt statisztikai hasonlóképpen a fentebb említett elemzések alapján történtek, kiegészítve T próbával.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A kórokozó elterjedtségének és az általa NK Neoma hibriden okozott tüneteknek a vizsgálata

4.1.1. A kórokozó elterjedtsége

A kórokozó elterjedtségét 2019 és 2022 között vizsgáltuk a Kárpát-medence különböző térségeiben. A Kárpát-medencében összesen 66 területet vizsgáltunk, ebből 58 terület volt *Macrophomina* sp. gombával fertőzött. Igazoltuk a kórokozó jelenlétét Csehországban is. A gomba hiányát főként az északabbi, hidegebb területeken, nagyobb földrajzi magasságban figyeltük meg a felmérés időtartama alatt. Azokon a területeken, ahol nem sikerült izolálni a kórokozót nem egyértelmű, hogy a kórokozó nincs jelen, csupán az mondható ki, hogy a kórokozó mikroszkleróciumai nem voltak jelen a vizsgált időszakban a gazdanövényekben (3. táblázat).

3. táblázat: A kórokozó jelenléte nem igazolható

Terület	Év	Ország
Sátoraljaújhely	2020	Magyarország
Edelény	2020	Magyarország
Gönc	2021	Magyarország
Turda	2021	Románia
Cluj Napoca	2021	Románia
Târgu Mureș	2021	Románia
Lendava	2020	Szlovénia
Lipovci	2020	Szlovénia
Lucova	2020	Szlovénia

Forrás: Saját szerkesztés

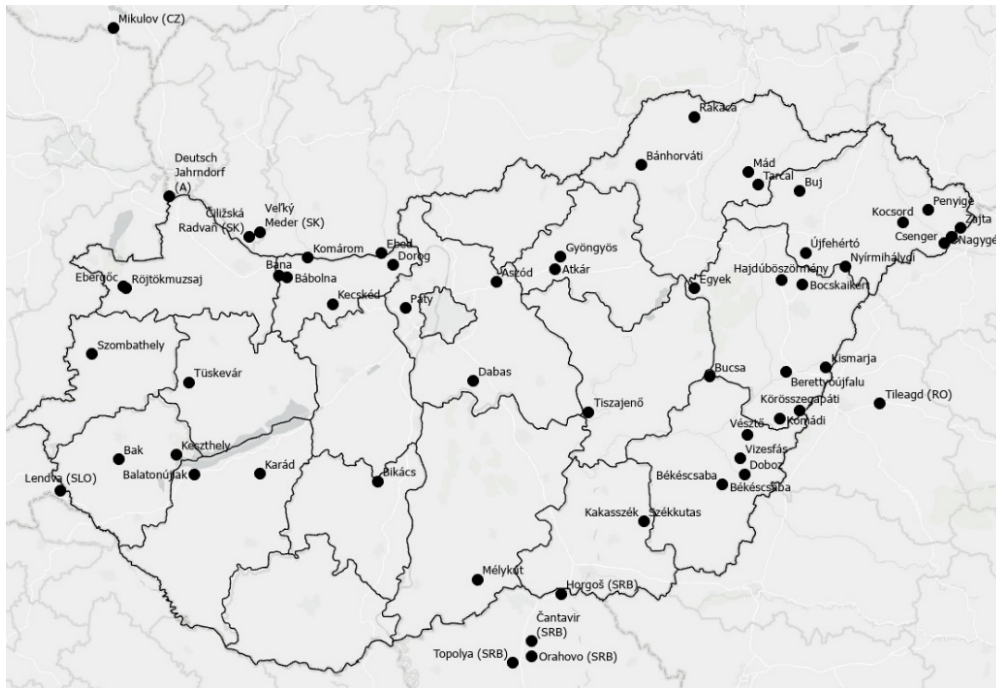
A magyarországi lelőhelyek felmérése minden év augusztus végén és szeptember elején történt. Az ország déli területein szeptemberben már sok esetben aratják a napraforgót. Az északi területeken vizsgált napraforgó növények víztartalma ez idő tájt még jóval meghaladja az aratáshoz szükséges vízmennyiséget. Ezeken a területeken a betakarítás kitolódhat szeptember közepétől akár október közepéig is. 2021 szeptember közepén vizsgáltuk a romániai területeket. A mintavételre kiválasztott napraforgótáblák

nem mutattak aszálykár tüneteket. A Kárpátok közelsége miatt ez a vidék viszonylag csapadékosnak számít. Ezeken a területeken a leginkább megfigyelt kórokozók a *Sclerotinia sclerotiorum* és az *Alternaria* fajok voltak. Ezek a patogének az esős és párás időjárást kedvelik. Az *Alternaria* fajok képesek lehetnek kiszorítani a *Macrophomina* fajokat. Szlovéniában az első vizsgálatok alatt kukoricatáblákat vizsgáltunk. A kukorica is gazdanövénye a kórokozónak, azonban kevésbé érzékeny rá, és az csak az aszályos években okoz szemmel látható tüneteket. A 3 év alatt gyűjtött izolátumok területeit a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat: *M. phaseolina* mintavételi helyek Magyarországon és néhány környező, határainkon túli területen.

Sor-szám	Területek	Gyűjtés éve	Sor-szám	Területek	Gyűjtés éve
1	Békéscsaba	2019	30	Kecskéd	2019
2	Bana	2019	31	Keszthely	2020
3	Bábolna	2020	32	Dabas	2019
4	Bucsa	2019	33	Vizesfás	2020
5	Röjtökmuzsaj	2019	34	Békéscsaba	2020
6	Berettyóújfalu	2020	35	Újfehértó	2020
7	Buj	2020	36	Bak	2021
8	Hajdúböszörmény	2019	37	Aszód	2021
9	Csenger	2020	38	Gyöngyös	2021
10	Szombathely	2019	39	Balatonújlak	2020
11	Székkutas	2019	40	Tiszajenő	2019
12	Kocsord	2019	41	Ebergőc	2019
13	Kismarja	2019	42	Tüskevár	2020
14	Kakasszék	2019	43	Tarcal	2020
15	Nyírmihálydi	2020	44	Mád	2020
16	Nagygéc	2020	45	Bocskai kert	2021
17	Zajta	2019	46	Atkár	2020
18	Rakaca	2020	47	Páty	2020
19	Körösszegapáti	2019	48	Bánhorváti	2020
20	Komádi	2020	49	Komárom	2020
21	Doboz	2020	50	Veľký Meder (SK)	2020
22	Vésztő	2020	51	Čiližská Radvaň (SK)	2021
23	Penyige	2019	52	Deutsch Jahrndorf (A)	2021
24	Obid (SK)	2019	53	Čantavir (SRB)	2021
25	Egyek	2019	54	Bačka Topola (SRB)	2021
26	Bikács	2019	55	Horgoš (SRB)	2020
27	Mélykút	2019	56	Orahovo (SRB)	2021
28	Karád	2021	57	Tileagd (RO)	2021
29	Hajdúdorog	2020	58	Lendva (SLO)	2022
			59	Mikulov (CZ)	2022

A kórokozó országszerte elterjedt (6. ábra) és a környező országokban (Szerbia, Románia, Szlovákia, Szlovénia, Ausztria) is jelen van. A kutatás során elsőként tudtuk igazolni a kórokozó jelenlétét Ausztriában. Szlovéniában a kórokozót leírták már, azonban elsőként tudtuk kimutatni jelenlétét napraforgón.

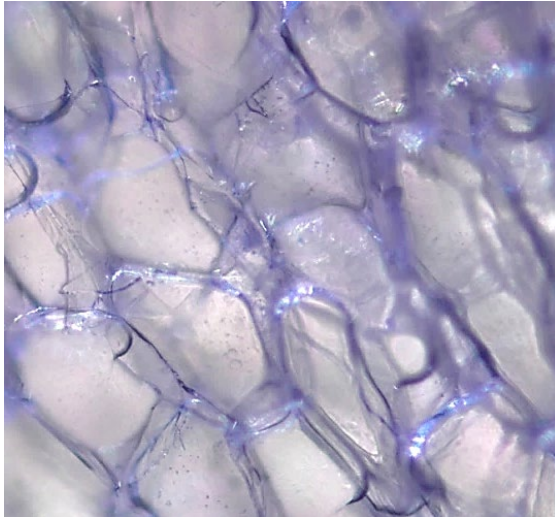


6. ábra: A kutatásban igazolt *Macrophomina* sp. által fertőzött területek

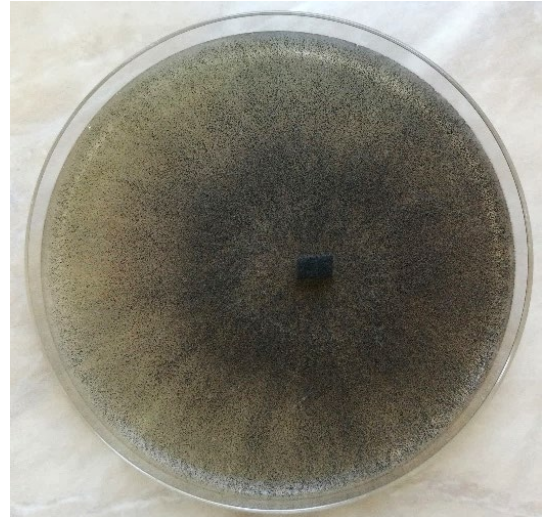
Forrás: Dr. Riczu Péter szerkesztése

4.1.2. A vizsgálat során tapasztalt tünetek

A patogén csíranövényfertőző, azonban hazánkban a napraforgó vetésekor a talajhőmérséklet még alacsony. Vizsgáltuk a kórokozó első penetrációját szántóföldi körülmények között. A gomba micélium festésére laktofenolos gyapotkék festéket használtunk. Elsőként június második hetében vett mintákból mutattunk ki micéliumot (7. ábra). A vizsgált napraforgók ekkor a festést megelőzően nem mutattak fertőzésre utaló jeleket (mikroszkleróciumok jelenléte, bélszövet felszívódás). A festék csak a micéliumot festi meg, ezzel mutatva az esetleges kolonizációt a növényi szöveten belül. Csak a micélium alapján fajsinten nem lehet határozni, ezért pontos azonosításhoz a bélszövetből vett mintát PDA táptalajon inkubáltuk a kórokozó számára ideális hőmérsékleten (30°C) és sötét körülmények között. Az inkubációt követően a harmadik napon megjelentek a kórokozóra jellemző mikroszkleróciumok. A tenyészetből tisztatenyészetet készítettünk (8. ábra).



7. ábra: Laktofenolos gyapotkék festékkel festett micélium napraforgó bélszövetben



8. ábra: A gyökérből vett mintából fejlődött *Macrophomina* sp. tenyészet

A penetrációtól kezdve a kórokozó folyamatosan kolonizálja a gyökérrendszert és a bélszövetet. Az első látható tünetek júliusban jelentkeztek. Az alsóbb levelek elveszítették turgorukat és hirtelen (két hét leforgása alatt) elszáradtak (9-10. ábra)



9. ábra: A levelek turgorának elvesztése és elszáradása a fertőzés következtében foltszerűen (Debrecen, 2021)



10. ábra: A levelek turgorának elvesztése és elszáradása elszórtan a területen (Debrecen, 2021)

Július végére már egymáshoz közeli hervadó növényeket találtunk a táblában. Augusztusban a kórokozó az ideális környezeti feltételek miatt (magas hőmérséklet, kevés csapadék) hirtelen fellépő hervadást és száradást okozott. A szár külsején lévő jellegzetes poros fekete elszíneződése nem mindig volt látható. Hasonló elszíneződés gyakran jelent meg a szár alsó harmadán más kórokozó fajok (*Alternaria* sp.) által okozott fertőzés miatt. A kórokozó által okozott fertőzés miatt a napraforgó bélállománya nem volt képes ellátni a feladatát, ezért a növények hamar vízhiányban szenvedtek. A vízstressz miatt a tányérátmérő drasztikusan csökkent (11. ábra).



11. ábra: A fertőzés hatására tányérátmérő csökkenés (jobbról az egészséges, balról a fertőzött; Debrecen, 2021)

Augusztusban számos napraforgó növénynél tapasztaltunk epidermisz leválást a szár alsó egyharmadában a gyökérnyak felé (12. ábra). A kórokozó a száron belül augusztusban képi a mikroszkleróciumokat. Augusztus második hetében több növény gyökérnyakának külső felületén mikroszkleróciumok tömkelegét (13. ábra) véltük felfedezni, de nem minden fertőzött növény esetében jelentkeztek ezek a tünetek.



12. ábra: A fertőzés következtében leváló epidermiszréteg (Debrecen, 2021)



13. ábra: Mikroszkleróciumok a gyökérnyakon (Debrecen, 2021)

Augusztus elején és közepén a vizsgált területen nagyterjedésű foltokat tapasztaltunk (14. ábra). Az országban végzett fertőzöttség mértékének meghatározásakor több területet is bejártunk. A dombosabb vidékeken azt tapasztaltuk, hogy főleg azokon a területeken volt megfigyelhető a kórokozó által fertőzött növények csoportja, ahonnan a víz elfolyhat (15. ábra). A terület domborzati viszonyai szerinti magasabb területeken több száradó növényt találtunk. A kórokozó ezeket a növényeket kolonizálta. A tábla tengerszint feletti magasság szerint alacsonyabban fekvő területein felhalmozódott víz késleltette avagy meggátolta a kórokozó károsítását.



14. ábra: *Marophomina* kórokozó által foltszerűen fertőzött debreceni napraforgó tábla (Debrecen, 2021)



15. ábra: *Macrophomina* kórokozó által foltszerűen fertőzött domboldali terület
(Keszthely, 2021)

Az eddig felsorolt tünetek (kivéve a mikroszkleróciumok megjelenése), gyakran más kórokozók, kártevők vagy abiotikus stressz által okozott tünetekkel összetéveszthető (16. ábra). A kórokozó azonosítására a legmegbízhatóbb tényező a mikroszkleróciumok tömeges jelenléte a száron belül (17. ábra) a gyökérszektortól egészen 40-50 cm magasságig. A gomba a vegetációs idő végéig teljesen felemésztheti a napraforgó bélállományát több ezer mikroszkleróciumot is képezhet.

A 2021-ben végzett felmérés igazolta, hogy a tünetek sokrétűek, ezért általánosítani nem lehet. A 2022-es év extrém aszályos évnak számított. A korábbi évben felmért tüneti károsítás során tapasztalt tünetek. 2019-ben, 2020-ban és 2021-ben nem tapasztaltunk zöld szárszövetben lévő mikroszkleróciumokat, azonban 2022-ben igen. Az extrém száraz 2022-es évjáratban, olyan körülmények alakultak ki, amelyek kedveztek a kórokozó fertőzésének. A kívülről egészségesnek tűnő zöld napraforgószárat kettévágva mikroszkleróciumokkal (18. ábra) telt szárat találtunk több vizsgált területen is. A fertőzött zöld növényeken lévő tányérok a szintén fertőzött barna száron lévő tányérokhoz képest (10-12 cm) néhány cm-el nagyobbak bizonyultak (15-17 cm), de közel sem érték el a 2021-es évben mért átlagos fertőzött növényeken fejlődött 20-22 cm-es tányératméretet.



16. ábra:

Alternaria sp. által okozott
tünet napraforgó
bélállományában
(Debrecen, 2021)



17. ábra:

Mikroszkleróciumok egy
elszáradt szár belsejében
(Debrecen, 2021)



18. ábra:

Mikroszkleróciumok egy
zöld szár belsejében
(Szeghalom, 2022)

4.2. A kórokozó által okozott károk felmérése

A kórokozó által okozott károsítás mértékét 2019 és 2020-ban vizsgáltuk. A *M. phaseolina* mindkét vizsgált évben jelen volt minden mintavételi helyen (5. táblázat). A legdélibb vizsgált lelőhely Székkutas volt. Ezen a helyen mindkét évben 70 % feletti fertőzöttséget mértünk, 2019-ben 73 %, 2020-ban pedig 71 %-ot.

Békéscsaba Székkutastól légvonalban 46 km-re északra fekszik. Ezen a területen 2019-ben 77 %-os, 2020-ban 68 %-os megbetegedést regisztráltunk. Vésztő Békéscsabától légvonalban 30 km-re északra található, ahol utóbbihoz hasonlóan 2019-ben 78 %-os, 2020-ban 68 %-os megbetegedést regisztráltunk. Bucsa Székkutastól légvonalban 83 km-re északra található. Bucsán 2019-ben 70 %, 2020-ban 65 % volt a fertőzöttség mértéke. Hajdúdorog a második legészakibb vizsgált helyszín (távolság Székkutastól: 163 km), 2019-ben (83 %) és 2020-ban (74 %) is a legfertőzöttebb terület egyike volt. A legészakibb terület Buj volt (távolság Székkutastól: 200 km). 2019-ben ez volt a második legfertőzöttebb hely (82 %), míg 2020-ban már csak 9 fertőzött növényt találtunk a vizsgált területen.

A vetésváltásban szereplő gazdanövények nagymértékben befolyásolhatják az inokulum (mikroszkleróciumok) mennyiségét a talajban. Magyarországon a patogén fontosabb gazdanövényei közé tartozik a napraforgó, a kukorica és a repce. A gabonafélék között egyelőre nincs igazolt gazdanövény-parazita kapcsolat, a kukorica kivételével. A kórokozó előfordulása és a vetésváltás szorosan összefügg. A vetésváltás hatása szignifikáns volt a fertőzöttségi értékre a vizsgált területeken (Mann-Whitney U-teszt: $p=0,0061$). Azokon a területeken, ahol a napraforgó vetések között 2 év telt el, a növények 77,34 %-os megbetegedést mutattak ($1,94 \pm DK$), míg ez az érték 67,00 % ($1,10 \pm DK$) volt azokon a területeken, ahol 3 év telt el két napraforgó vetése között. Ezt támasztják alá a 2020-as buji eredmények is, ahol 4 évig termesztettek lucernát, és további 4 évig nem vetettek napraforgót, ezzel a talajban lévő elsődleges fertőzési források, a mikroszkleróciumok száma drasztikusan lecsökkent. A kórokozó azonban továbbra is jelen volt a területen.

5. táblázat: A fertőzés százalékos mértéke a vizsgálat éveiben és a területeken termesztett elővetemények

Terület	FM%		Vetésváltás		
	2019	2018	2017	2016	2015
Székkutas 1	73	őszi búza	napraforgó	őszi búza	kukorica
Békéscsaba 1	77	őszi búza	napraforgó	kukorica	őszi búza
Vésztő 1	78	őszi búza	napraforgó	kukorica	őszi búza
Bucsa 1	70	őszi búza	kukorica	napraforgó	kukorica
Hajdúdorog 1	83	őszi búza	napraforgó	kukorica	napraforgó
Buj 1	82	tritikálé	napraforgó	kukorica	őszi búza
	2020	2019	2018	2017	2016
Székkutas 2	71	őszi árpa	napraforgó	őszi búza	kukorica
Békéscsaba 2	68	őszi búza	kukorica	napraforgó	őszi búza
Vésztő 2	68	őszi búza	kukorica	napraforgó	őszi búza
Bucsa 2	65	őszi búza	kukorica	napraforgó	őszi búza
Hajdúdorog 2	64	kukorica	őszi búza	napraforgó	őszi búza
Buj 2	9	őszi búza	kukorica	ő. káp. repce	őszi búza

(FM% fertőzöttség mértéke; ő. káp. repce: őszi káposztarepce)

4.2.2. Az időjárási viszonyok hatása a fertőzésre

2019-ben a 6 vizsgált területen az átlagos csapadékmennyiség mindössze 366 mm volt (6. táblázat). 2019-ben a legszárazabb területek Bucsa, Hajdúdorog és Buj voltak. A vizsgált helyszínek közül 2019-ben jegyezték fel a legtöbb hőségnapot. 2019-ben Buj és Hajdúdorog területein volt a legmagasabb a megbetegedési arány (82-83 %), míg a meteorológiai adatok alapján a szárazabb Bucsán mindössze 70 % volt a betegség előfordulása. Bucsán 297 mm csapadék esett a vegetációs időszakban. Vésztőn és Székkutason a növények számára megfelelő mennyiségű csapadék (449 és 432 mm) volt. Ezeken a területeken a fertőzöttség 78 % és 73 % volt. Békéscsabán a fertőzöttség mértéke 77 % volt. Ez a magas szám a júniusi, júliusi és augusztusi kevés csapadéknak, valamint a hőségnapok számának volt köszönhető. Vésztőn és Székkutason kevesebb volt a hőségnapok száma, mint a fent említett területeken.

6. táblázat: A fertőzöttség százalékos mértéke és a vegetációs időszakok csapadék adatai a vizsgált két évben (2019-2020) az érintett területeken

	Terület	FM%	Csapadék (mm)						
			veg. per.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.
2019	Székkutas 1	73	432.4	37.1	121.9	138.5	78.0	17.4	39.5
	Békéscsaba 1	77	353.4	59.4	117.6	31.6	75.2	13.1	56.5
	Vésztő 1	78	449.1	76.6	146.2	86.0	79.8	15.8	44.6
	Bucsa 1	70	297.9	43.3	87.5	19.9	94.1	10.7	42.4
	Hajdúdorog 1	83	333.6	21.0	64.2	123.4	83.8	18.6	22.6
	Buj 1	82	333.6	21.0	64.2	123.4	83.8	18.6	22.6
2020	Székkutas 2	71	336.3	10.4	36.9	138.0	60.5	85.5	5.0
	Békéscsaba 2	68	271.5	12.2	17.3	108.5	74.3	18.8	40.4
	Vésztő 2	68	320.8	0.0	6.1	118.7	94.8	62.2	39.0
	Bucsa 2	65	361.9	12.0	20.1	142.7	113.5	40.0	33.6
	Hajdúdorog 2	64	456.2	3.5	37.3	218.1	82.5	60.8	54.0
	Buj 2	9	456.2	3.5	37.3	218.1	82.5	60.8	54.0

(FM% fertőzöttség mértéke, veg.per.: vegetációs periódus)

2020-ban a 6 terület átlagos csapadékmennyisége a 2019-eshez hasonló volt (7. táblázat). A legszárazabb területnek Békéscsaba bizonyult (271 mm), ahol a hőségnapok

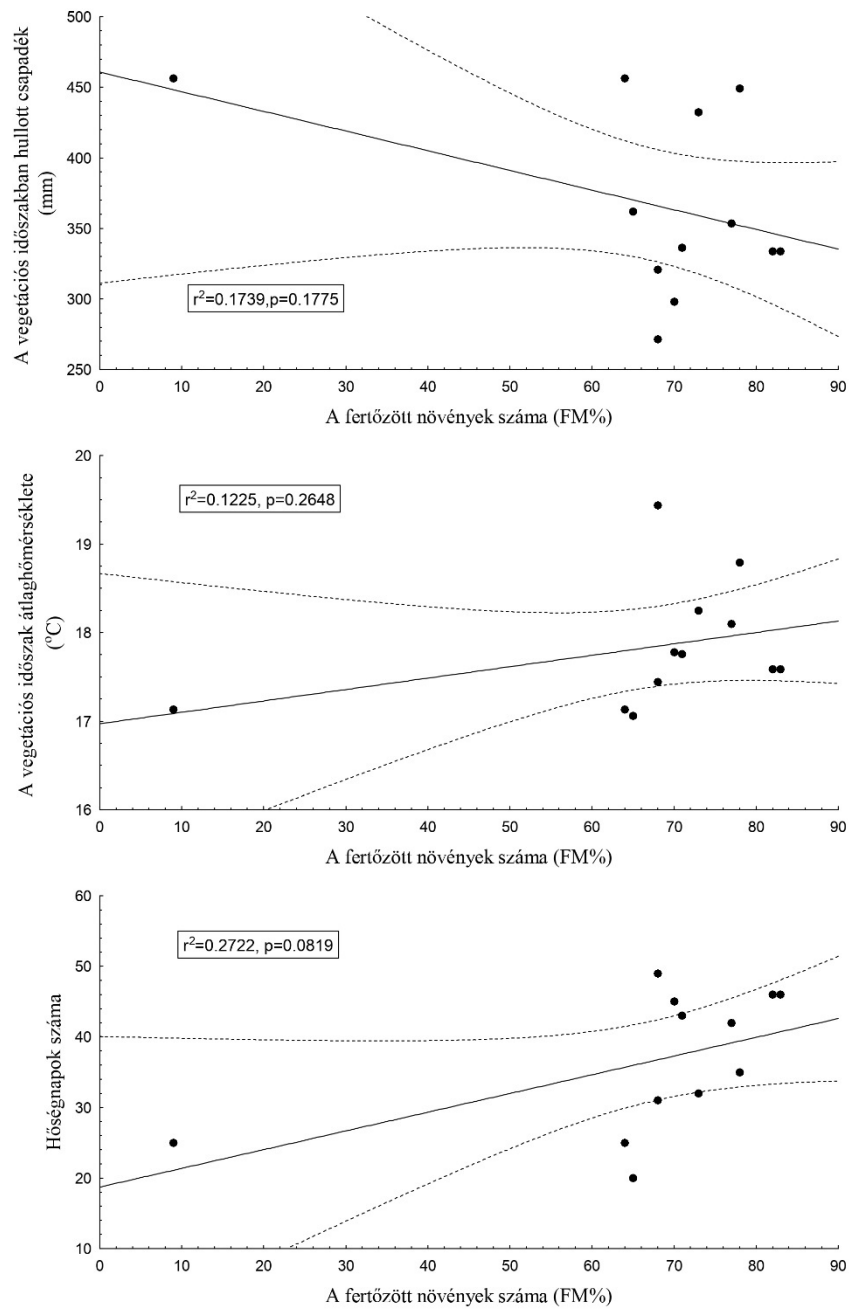
száma 31 volt. A fertőzések aránya ezen a területen magas volt (68 %). Vésztő és Székkutas mérsékelt csapadékos (320 és 336 mm) volt a vizsgált évben, a fertőzöttség mértéke 68 % és 71 % volt. A hőségnapokat tekintve Vésztőn 49, Székkutason 43 nap volt kiemelkedően magas hőmérsékletű. A legtöbb csapadék Hajdúdorog (456 mm) és Buj (456 mm) területeken hullott. A fertőzöttség 64%-os, illetve 9 %-os volt ezeken a helyeken. 2020-ban a legkevesebb hőségnap ezen a két területen volt. A buji területen detektált alacsony fertőzési arány több tényezőnek is köszönhető.

7. táblázat: A fertőzöttség százalékos mértéke és a vegetációs időszakok hőmérséklet adatai a vizsgált két évben (2019-2020) az érintett területeken

	Terület	FM%	HN	Átlaghőmérséklet (°C)						
				veg. per.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szep.
2019	Székkutas 1	73	32	18.3	12.9	14.7	22.5	22.1	23.8	18.0
	Békéscsaba 1	77	42	18.1	12.8	14.6	22.7	21.8	23.7	17.8
	Vésztő 1	78	35	18.8	13.6	15.4	23.7	22.6	23.6	17.8
	Bucsa 1	70	45	17.8	12.7	14.4	23.1	21.5	23.2	17.0
	Hajdúdorog 1	83	46	17.6	12.6	14.2	23.2	20.9	22.9	16.7
	Buj 1	82	46	17.6	12.6	14.2	23.2	20.9	22.9	16.7
2020	Székkutas 2	71	43	17.8	11.9	14.9	20.1	21.7	23.3	18.9
	Békéscsaba 2	68	31	17.4	11.7	15.1	20.4	21.4	22.5	18.4
	Vésztő 2	68	49	19.4	18.5	14.9	20.6	22.0	23.6	19.2
	Bucsa 2	65	20	17.1	11.0	14.6	20.2	21.1	22.4	17.9
	Hajdúdorog 2	64	25	17.1	11.6	14.4	20.2	21.3	22.8	17.7
	Buj 2	9	25	17.1	11.6	14.4	20.2	21.3	22.8	17.7

(FM%: fertőzöttség mértéke, HN: hőségnapok száma, veg. per: vegetációs periódus)

Mind a mintavételi helyek, mind a vizsgált évek időjárási viszonyai nagy eltéréseket mutattak, és sem a csapadék, sem a hőmérsékleti adatok áttekintése nem vezetett egyértelmű eredményre. A vegetációs időszak összes csapadékaival jellemezhető időjárás szárazságának hatása negatív, de nem szignifikáns a vizsgált időszakban (2019-2020), míg a csapadék havi értékeinek elemzése nem mutatott egyértelmű tendenciát. A tavaszi csapadék hatása pozitív volt, de ez a hatás nem volt szignifikáns. A nyári hónapokban ez a hatás júniusban és augusztusban szignifikánsan negatív volt, júliusban viszont nem. Ősszel a csapadék hatása negatív volt, de nem szignifikáns. Az eredmények alapján a kisebb csapadék nagyobb fertőzöttséghez vezetett (19. ábra).



19. ábra: A vegetációs időszakban hullott csapadék, átlaghőmérséklet és hőségnapok hatása a fertőzött növények számára (2019-es és 2020-as év)

4.2.3. A fertőzés hatása a termésvesztésre

A *M. phaseolina* fertőzés jelentős termésvesztést okozott a vizsgált növények tányérátmérőjének, kaszattömegének és ezerkaszattömegének csökkenése miatt (8. táblázat). A legalacsonyabb hatást a tányérátmérők esetében tapasztaltuk, amelyek a

fertőzés hatására mindkét vizsgált évben átlagosan 27,76 %-kal, illetve 15,86 %-kal csökkentek. A kaszatok tömegvesztesége 2019-ben nagyobb volt (42,36 %), mint 2020-ban (25,56 %). Az ezerkaszatömeg csökkenése a két vizsgált évben azonos tendenciát mutatott. A két év termésvesztesége ugyan eltérő volt, de minden időszakban jelentős volt. Az olajtartalom ellentétes tendenciát mutatott a többi vizsgált paraméter értékeihez viszonyítva. A fertőzött növényeken termelt kaszatok olajtartalma szignifikánsan magasabb volt, mint az egészséges növényeken termetteké. Az olajtartalom növekedése mindkét évben lényegesen alacsonyabb arányú volt, mint a kaszatok tömegének csökkenése, így nem tudta ellensúlyozni a termés kiesést.

8. táblázat: A fertőzés hatása a napraforgó vizsgált paramétereire

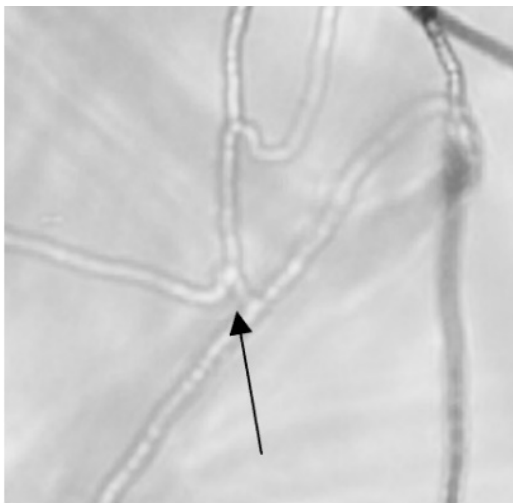
	2019	2020	2019	2020
Tányérátmérő (cm±SE)		termésveszteség (%)		
Egészséges	25.07 (±0.20)a	24.27 (±0.14)a		
Fertőzött	18.11 (±0.10)b	20.42 (±0.10)b	-27.76	-15.86
Kaszattömeg (g±SE)				
Egészséges	133.85 (±1.50)a	128.41 (±1.08)a		
Fertőzött	77.15 (±1.00)b	95.59 (±0.90)b	-42.36	-25.56
Ezer-kaszattömeg (g±SE)				
Egészséges	84.44 (±0.66)a	82.38 (±0.40)a		
Fertőzött	58.64 (±0.66)b	68.30 (±0.55)b	-30.55	-17.09
Olajtartalom (%)				
Egészséges	42.67 (±0.24)a	41.89 (±0,24)a		
Fertőzött	44.98 (±0.22)b	44.57 (±0,19)b	5.41	6.40

4.3. A kórokozó kompatibilitásának, mikroszklerócium átmérőinek vizsgálata és molekuláris biológiai azonosítása

4.3.1. A gyűjtött izolátumok micéliális kompatibilitása

Az általunk gyűjtött valamennyi izolátumot tartósan fagyasztva tároljuk a Növényvédelmi Intézet -80°C-os ultrafagyasztójában 50-50 %-os glicerinnel oldatban. Az izolátumok a DENI_MacPha jelölést kapták. A 4.1.-es fejezet sorszámainak megfelelően kapták az azonosító számokat. A disszertáció további fejezeteiben ezt a megjelölést használjuk.

Az izolátumok kompatibilitási tesztelése során 5133 párosítási tesztet végeztünk el. A hifa-anasztomózisok létrejöttét mikroszkóp alatt vizsgáltuk (20. ábra). Az összes párosítási lehetőségéből (1711) mindösszesen 42 esetben nem tapasztaltunk anasztomózis képződést. Az izolátumok között ilyen esetben barrier zóna alakul ki (21. ábra). Az izolátumok esetében a legtöbb alkalommal egy-egy izolátum között alakult ki barrier zóna (inkompatibilitás): (DENI_MacPha001; DENI_MacPha011; DENI_MacPha018; DENI_MacPha019; DENI_MacPha028; DENI_MacPha029; DENI_MacPha031; DENI_MacPha035; DENI_MacPha037; DENI_MacPha039; DENI_MacPha040; DENI_MacPha043; DENI_MacPha046; DENI_MacPha050; DENI_MacPha053; DENI_MacPha055).



20. ábra: Hifa-anasztomózis két kompatibilis törzs között

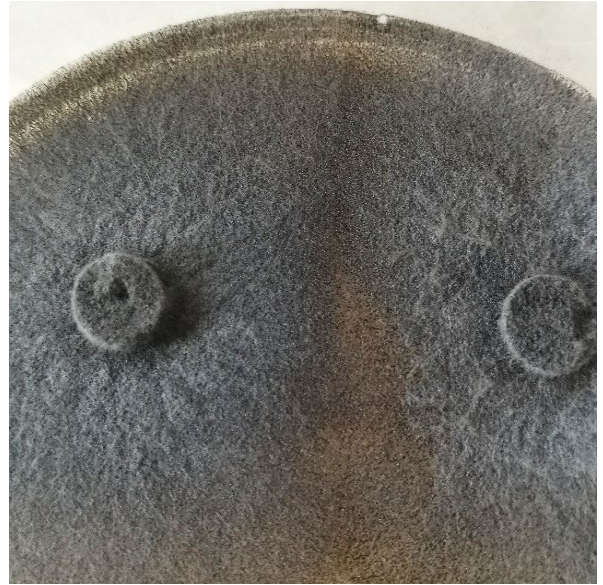


21. ábra: Barrier zóna két izolátum között

Kilenc tenyészet esetében két másik izolátummal történő párosításnál alakult ki barrier zóna (DENI_MacPha003; DENI_MacPha013; DENI_MacPha017; DENI_MacPha021; DENI_MacPha023; DENI_MacPha025; DENI_MacPha027; DENI_MacPha032; DENI_MacPha057). A DENI_MacPha051-es izolátum három másik izolátummal képezett barrier zónát. A DENI_MacPha006-os, DENI_MacPha012-es és a DENI_MacPha026-os izolátumok négy további izolátummal képeztek barrier zónákat. Három izolátum (DENI_MacPha008; DENI_MacPha009; DENI_MacPha033) öt másikkal, a DENI_MacPha052-es izolátum hat másik izolátummal, míg a DENI_MacPha054-es izolátum 8 további izolátummal képezett barrier zónát. Egy esetben feltisztulási zóna alakult ki (22. ábra). A többi vizsgált esetben az izolátumok között nem alakult ki gátlási zóna, a telepek egymással összenőttek (23. ábra).



22. ábra: Feltisztulási zóna



23. ábra: Kompatibilis kapcsolat

A tesztelt 59 izolátum közötti anasztomózis képzés vizuálisan értékelt eredményei alapján az izolátumok nem bonthatóak kompatibilitási csoportokra. Az összes párosítási lehetőség közül 97,55%-ban anasztomózis képzés volt látható két izolátum között. Az eredmények alapján az általunk vizsgált izolátumok ugyanabba a kompatibilitási csoportba tartoznak.

4.3.2.A mikroszkleróciumok mérete

A tenyészeteket az egyes helyeken gyűjtött izolátumokból készítettük. A gomba PDA táptalajon 25°C-os fokon sötét körülmények között mikroszkleróciumokat képzett. Az izolátumokban fejlődött mikroszkleróciumok gömb alakúak voltak. A napraforgószárban keletkezett mikroszkleróciumok átlagos átmérői 60-90 μm közöttiek. A kórokozó táptalajon képzett mikroszkleróciumainak átlagos átmérője méréseink alapján 108-145 μm volt (9. táblázat).

9. táblázat: A mikroszkleróciумok átlagos átmérője

Azonosító	SZKM	TTKM	Azonosító	SZKM	TTKM
DENI_MacPha001	82	143,7	DENI_MacPha031	81	124
DENI_MacPha002	81	134	DENI_MacPha032	80	121,3
DENI_MacPha003	82	120	DENI_MacPha033	79	138
DENI_MacPha004	79	115	DENI_MacPha034	77	105
DENI_MacPha005	82	145,5	DENI_MacPha035	73	114
DENI_MacPha006	80	112	DENI_MacPha036	82	125
DENI_MacPha007	79	123	DENI_MacPha037	88	124
DENI_MacPha008	73	134	DENI_MacPha038	68	119
DENI_MacPha009	72	133	DENI_MacPha039	74	115
DENI_MacPha010	69	123	DENI_MacPha040	74	114
DENI_MacPha011	68	105	DENI_MacPha041	72	123
DENI_MacPha012	72	139	DENI_MacPha042	71	134
DENI_MacPha013	77	117	DENI_MacPha043	73	124
DENI_MacPha014	73	126	DENI_MacPha044	72	135
DENI_MacPha015	81	122	DENI_MacPha045	77	121
DENI_MacPha016	82	123	DENI_MacPha046	72	118,6
DENI_MacPha017	83	132	DENI_MacPha047	73	117
DENI_MacPha018	82	117	DENI_MacPha048	71	124
DENI_MacPha019	90	145,3	DENI_MacPha049	80	134
DENI_MacPha020	82	123	DENI_MacPha050	89	128
DENI_MacPha021	73	135	DENI_MacPha051	62	128
DENI_MacPha022	72	108	DENI_MacPha052	60	115
DENI_MacPha023	73	119	DENI_MacPha053	81	137,7
DENI_MacPha024	72	117	DENI_MacPha054	82	122,3
DENI_MacPha025	77	132	DENI_MacPha055	73	117
DENI_MacPha026	73	126	DENI_MacPha056	74	115
DENI_MacPha027	72	121	DENI_MacPha057	76	118
DENI_MacPha028	69	121,3	DENI_MacPha058	74	112
DENI_MacPha029	74	137	DENI_MacPha059	81	121
DENI_MacPha030	77	112			

(SZKM: szárban keletkezett mikroszkleróciум μm -ben; TTKM: Tisztatényészetben keletkezett mikroszkleróciум μm -ben)

4.3.3. Molekuláris azonosítás

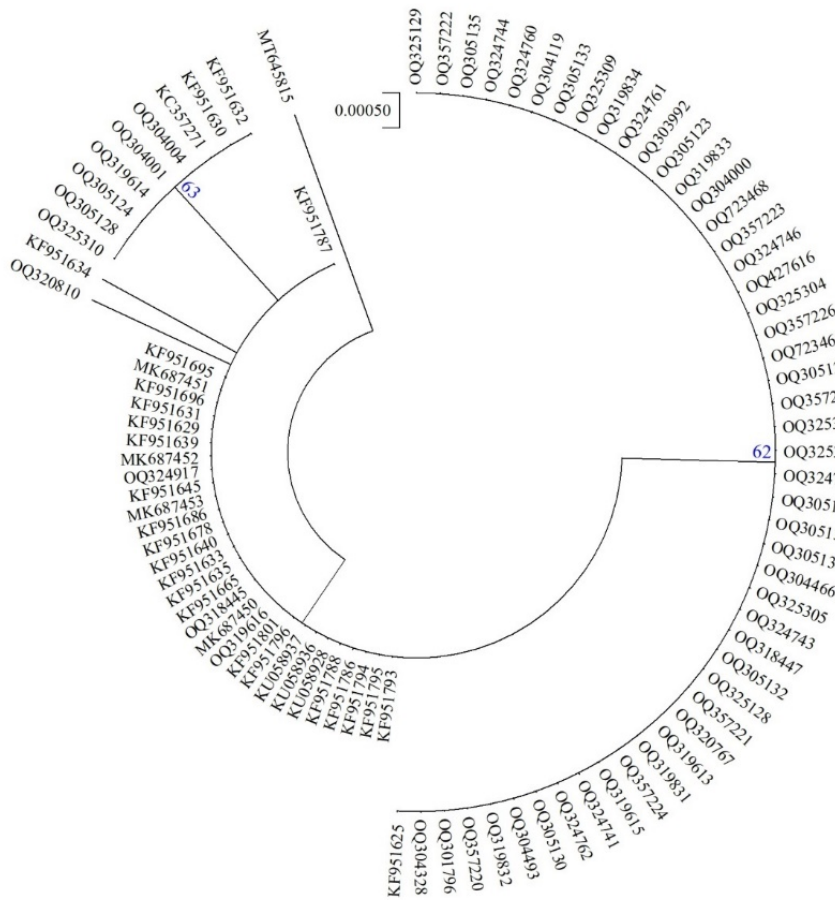
A gyűjtött izolátumokat ITS1-ITS4, valamint EF/728-EF2 primerpárokkal vizsgáltuk. Az ITS1 primerpárra szekvenált szekvenciákat, valamint az EF728-as és EF2 primerpárra szekvenált szekvenciákat a rendezés után az NCBI génbankba deponáltuk (10. táblázat).

10. táblázat: NCBI azonosítók

Izolátum lelőhelye	Törzsgyűjtemény azonosító	NCBI azonosító ITS	NCBI azonosító TEF
Békéscsaba	DENI_MacPha001	OQ301796	OR227686
Bana	DENI_MacPha002	OQ305133	OR227687
Bábolna	DENI_MacPha003	OQ303992	OR227688
Bucsa	DENI_MacPha004	OQ304001	OR227689
Röjtökmuzsaj	DENI_MacPha005	OQ304000	OR227690
Berettyóújfalu	DENI_MacPha006	OQ305123	OR227691
Buj	DENI_MacPha007	OQ304004	OR227692
Hajdúböszörmény	DENI_MacPha008	OQ305132	OR227693
Csenger	DENI_MacPha009	OQ305128	OR227694
Szombathely	DENI_MacPha010	OQ304119	OR227695
Székkutas	DENI_MacPha011	OQ304328	OR227696
Kocsord	DENI_MacPha012	OQ305134	OR227697
Kismarja	DENI_MacPha013	OQ305124	OR227698
Kakasszék	DENI_MacPha014	OQ305135	OR227699
Nyírmihálydi	DENI_MacPha015	OQ304466	OR227700
Nagygéc	DENI_MacPha016	OQ305131	OR227701
Zajta	DENI_MacPha017	OQ305130	OR227702
Rakaca	DENI_MacPha018	OQ305125	OR227703
Körösszegapáti	DENI_MacPha019	OQ304493	OR227704
Komádi elágazás	DENI_MacPha020	OQ305129	OR227705
Doboz	DENI_MacPha021	OQ319613	OR227706
Vésztő	DENI_MacPha022	OQ318445	OR227707
Penyige	DENI_MacPha023	OQ319614	OR227708
Obid (SK)	DENI_MacPha024	OQ318447	OR227709
Egyek	DENI_MacPha025	OQ319615	OR227710
Bikács	DENI_MacPha026	OQ319832	OR227711

Izolátum lelőhelye	Törzsgyűjtemény azonosító	NCBI azonosító ITS	NCBI azonosító TEF
Mélykút	DENI_MacPha027	OQ319616	OR227712
Karád	DENI_MacPha028	OQ319834	OR227713
Hajdúdorog	DENI_MacPha029	OQ319833	OR227714
Kecskéd	DENI_MacPha030	OQ319831	OR227715
Keszthely	DENI_MacPha031	OQ324745	OR227716
Dabas	DENI_MacPha032	OQ320767	OR227717
Vizesfás	DENI_MacPha033	OQ324743	OR227718
Békéscsaba II.	DENI_MacPha034	OQ324761	OR227719
Újfehértó	DENI_MacPha035	OQ324746	OR227720
Bak	DENI_MacPha036	OQ324741	OR227721
Aszód	DENI_MacPha037	OQ320810	OR227722
Gyöngyös	DENI_MacPha038	OQ324760	OR227723
Balatonújlak	DENI_MacPha039	OQ324762	OR227724
Tiszajenő	DENI_MacPha040	OQ324744	OR227725
Ebergőc	DENI_MacPha041	OQ325128	OR227726
Tüskevár	DENI_MacPha042	OQ325129	OR227727
Tarcal	DENI_MacPha043	OQ325305	OR227728
Mád	DENI_MacPha044	OQ324917	OR227729
Bocskai kert	DENI_MacPha045	OQ325306	OR227730
Atkár	DENI_MacPha046	OQ325304	OR227731
Páty	DENI_MacPha047	OQ325309	OR227732
Bánhorváti	DENI_MacPha048	OQ325308	OR227733
Komárom	DENI_MacPha049	OQ325310	OR227734
Veľký Meder (SK)	DENI_MacPha050	OQ357222	OR227735
Čiližská Radvaň (SK)	DENI_MacPha051	OQ357221	OR227736
Deutsch Jahrndorf (A)	DENI_MacPha052	OQ427616	OR227737
Čantavir (SRB)	DENI_MacPha053	OQ357224	OR227738
Bačka Topola (SRB)	DENI_MacPha054	OQ357220	OR227739
Horgoš (SRB)	DENI_MacPha055	OQ357225	OR227740
Orahovo (SRB)	DENI_MacPha056	OQ357226	OR227741
Tileagd (RO)	DENI_MacPha057	OQ357223	OR227742
Slovénia	DENI_MacPha058	OQ723468	OR227743
Csehország	DENI_MacPha059	OQ723467	OR227744

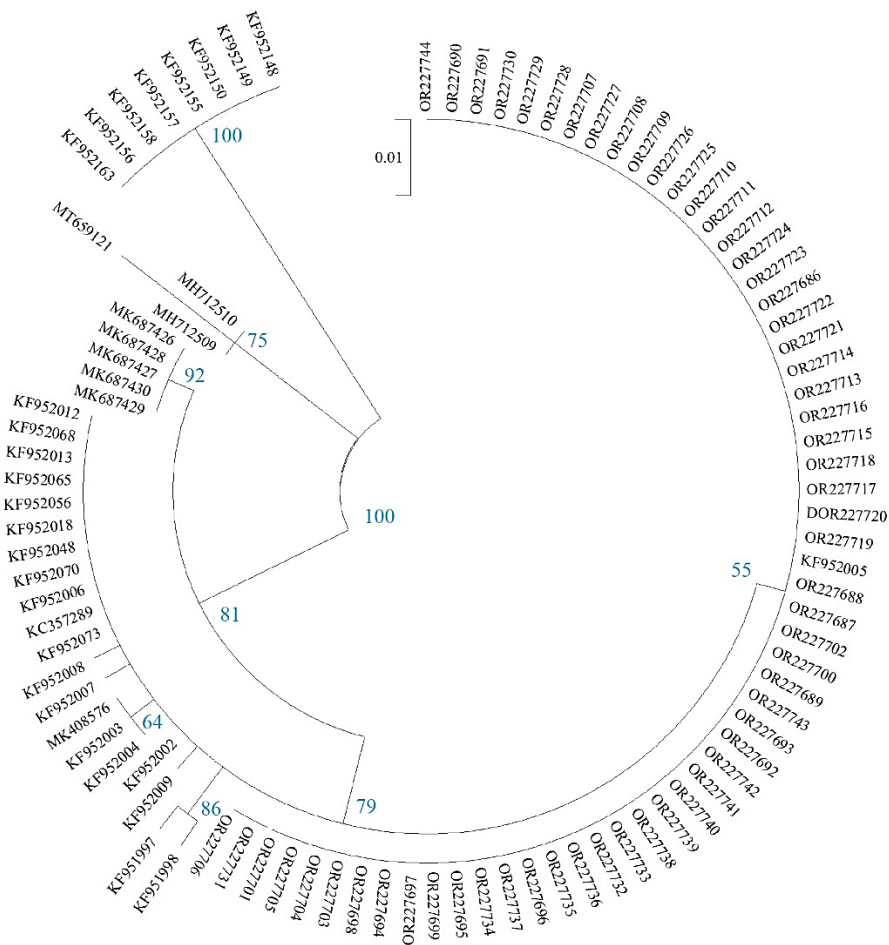
Az ITS szekvenciák alapján készített törzsfá (24. ábra) szerint a fajokat nem lehet elkülöníteni az ITS1/ITS4 primerpárokkal.



24. ábra: *Macrophomina* izolátumok ITS szekvencia alapján szerkesztett filogenetikai törzsfája.

(A dendrogramon látható elágazások hossza arányos a nukleotid eltérések számával, a skála felül látható. Az elágazásoknál látható szám a bootstrap analízis (1000 ismétlés) eredményét jelöli, míg a fajnevek előtt az NCBI adatbázisban található deponált törzsek nyilvántartási számai (Accession Number) vannak, amelyekkel a saját izolátumjainkat összehasonlítottuk. A filogenetikai törzsfán csak az 50%-nál nagyobb értéket jelöltük).

A fajsintű azonosítást a EF728/EF2 primerpárral is elvégeztük (25. ábra). A MEGA X program a különböző fajokat eltérő csoportokba sorolta. A program az általunk gyűjtött valamennyi izolátumot a *Macrophomina phaseolina* fajhoz sorolta.



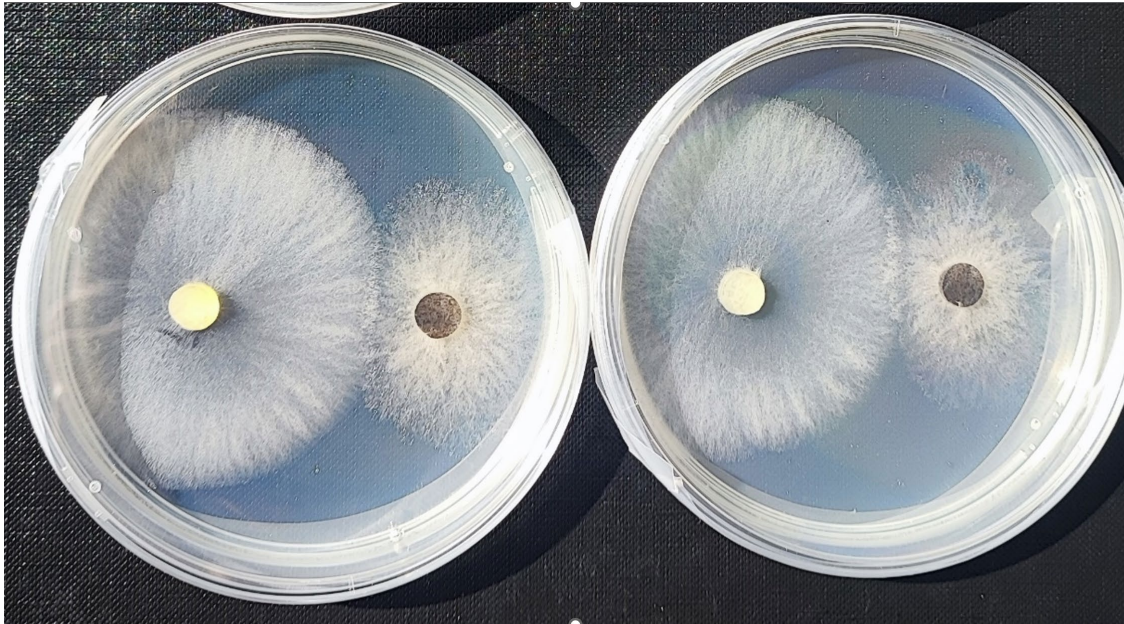
25. ábra: *Macrophomina* izolátumok TEF- α szekvencia alapján szerkesztett filogenetikai törzsfája.

(A dendrogramon látható elágazások hossza arányos a nukleotid eltérések számával, a skála felül látható. Az elágazásoknál látható szám a bootstrap analízis (1000 ismétlés) eredményét jelöli, míg a fajnevek előtt az NCBI adatbázisban található deponált törzsek nyilvántartási számai (Accession Number) vannak, amelyekkel a saját izolátumjainkat összehasonlítottuk. A filogenetikai törzsfán csak az 50%-nál nagyobb értéket jelöltük).

4.4. A biológiai védekezési kísérletek eredményei

A *Trichoderma* fajok kompetíciós képességét az általunk gyűjtött és molekulárisan azonosított DENI_MacPha026-os izolátummal szemben teszteltük laboratóriumi körülmények között. A patogén és az antagonista szervezetek a Petri-csésze közepén a második (26. ábra) és harmadik mérési napon konfrontációs zónát alakítottak

ki. Az antagonista gombák jóval gyorsabban nőttek, mint a patogén, ezért a zóna a patogén irányában alakult ki.



26. ábra: Konfrontációs zóna kialakulása a vizsgálat második napján a *Trichoderma* sp. és a DENI_MacPha026-os izolátum között

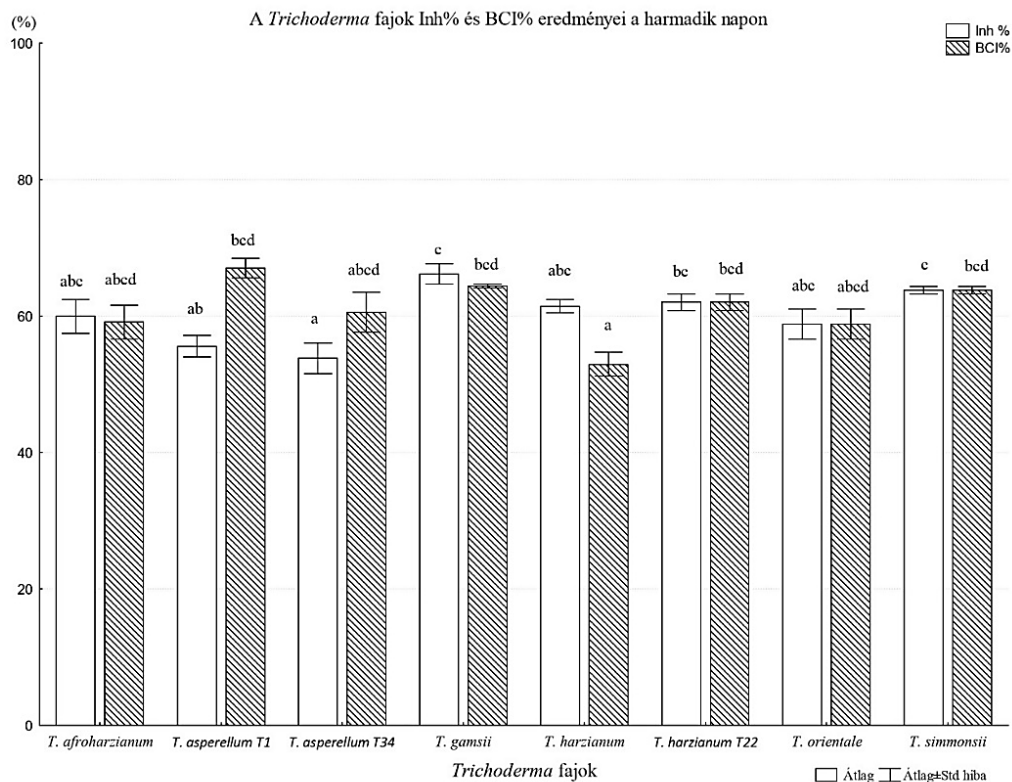
(Petri-csészében balra az antagonista korongból fejlődött micélium, jobbra a patogén korongból fejlődött micélium)

A harmadik mérési napra a kontroll Petri-csészében inkubált patogén micéliumtelepe benőtte a Petri-csészét, így az inhibíciós százalékot a harmadik napon értékeltünk. A Levene teszt alapján ($p < 0,2302$) és a hisztogramok értékelése során megállapítható, hogy az adatsor megfelel a parametrikus tesztek feltételeinek. A vizsgálat harmadik napján az inhibíciós százalék tekintetében az általunk tesztelt *Trichoderma* nemzetségbe tartozó fajok közül a *T. afroharzianum* 60%-os, a *T. asperellum* T1-es törzse 56%-os a *T. asperellum* T34-es törzse 54%-os a *T. harzianum* T22-es törzse 62%-os a *T. gamsii* 66%-os a *T. harzianum* 61%-os a *T. orientale* 59%-os a *T. simmonsii* 64%-os gátló hatást fejtett ki a *M. phaseolina*-val szemben. A Tukey teszt alapján szignifikáns eltérések voltak az egyes *Trichoderma* fajok inhibíciós százalécai között (27. ábra). A statisztikai elemzéseink alapján a *T. afroharzianum* a *T. harzianum*, *T. orientale* egyik vizsgált antagonistával sem mutatott szignifikáns különbséget. A *T. asperellum* T1-es törzse a *T. gamsii* és *T. simmonsii* kivételével nem mutatott statisztikai különbséget a többi vizsgált antagonistától. A *T. asperellum* T34-es törzse statisztikai különbséget mutat a *T. harzianum* T22-es törzse, a *T. gamsii* és a *T. simmonsii* antagonistáktól. A *T. gamsii* és a

T. simmonsii szignifikánsan eltért a *T. asperellum* T1-es és T34-es törzseitől. A gátlóhatás tekintetében a *T. gamsii* és a *T. simmonsii* bizonyult a leghatékonyabbnak a vizsgálat harmadik napján a *M. phaseolina* ellen.

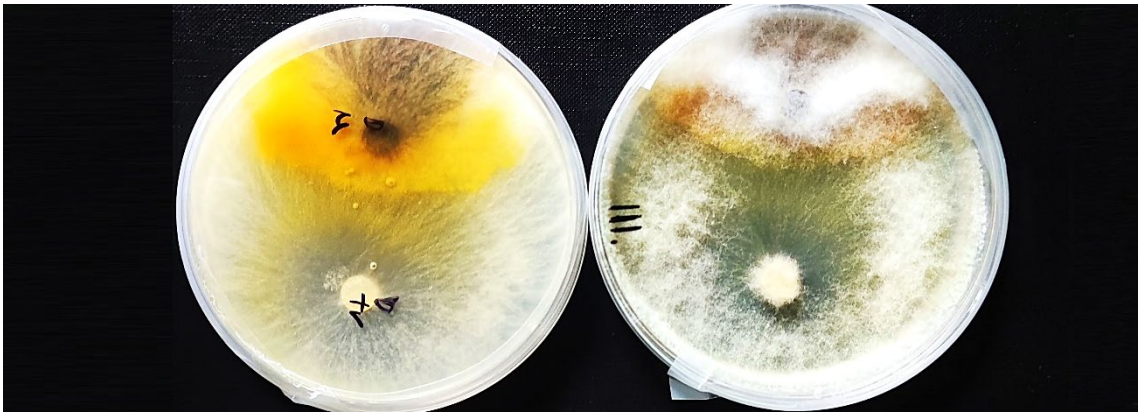
A vizsgálat harmadik napján a biokontroll indexet (%) is meghatároztunk. A Levene teszt alapján ($p > 0,2302$) és a hisztogramok értékelése során megállapítható, hogy az adatsor megfelel a parametrikus tesztek feltételeinek.

A vizsgált antagonisták közül a *T. afroharzianum* 59%-os, a *T. asperellum* T1-es törzse 67%-os, a *T. asperellum* T34-es törzse 64%-os, a *T. harzianum* T22-es törzse 62%-os, a *T. gamsii* 64%-os, a *T. harzianum* 53%-os, a *T. orientale* 59%-os, a *T. simmonsii* 64%-os biokontroll hatással volt a patogénre. A Tukey teszt eredménye szerint szignifikáns különbség van több *Trichoderma* faj között is. A *T. afroharzianum*, a *T. asperellum* T34-es törzse és a *T. orientale* egyik vizsgált antagonistával sem mutatott értékelhető statisztikai különbséget. A *T. harzianum* fajjal szignifikáns differenciát mutatott a *T. asperellum* T1-es törzse, a *T. gamsii* és a *T. simmonsii*. A legmagasabb biokontroll indexe (%) a *T. asperellum* T1-es és T34-es törzseinek, valamint a *T. gamsii* és *T. simmonsii* antagonisták voltak.



27. ábra: A *Trichoderma* fajok Inh% és BCI% eredményei a harmadik napon

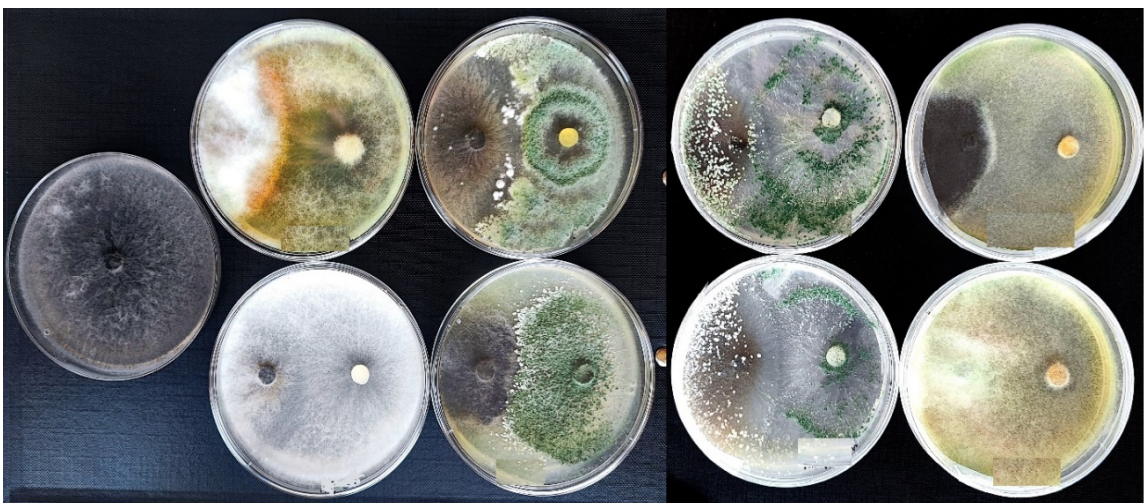
A negyedik mérési naptól kezdve a konfrontációs zóna folyamatosan tolódott a patogén irányába valamennyi antagonista esetében, azonban egyik antagonista sem sporulált a patogéne. Az ötödik napra a *T. harzianum* T22 (Trianum) (28. ábra) és a *T. gamsii* (TR08) ránőtt a patogénre, bőséges légmicéliumot képzett és sporulált rajta.



28. ábra: A Trianum készítmény hatékonysága *in vitro* körülmények között az ötödik napon

(balról a Petri-csésze alulról fotózott képe; fent a patogén, lent az angatonista telep/jobbról a Petri-csésze felülről fotózott képe; fent a patogén micélium és mikroszklerócium telepe, lent az angatonista telep)

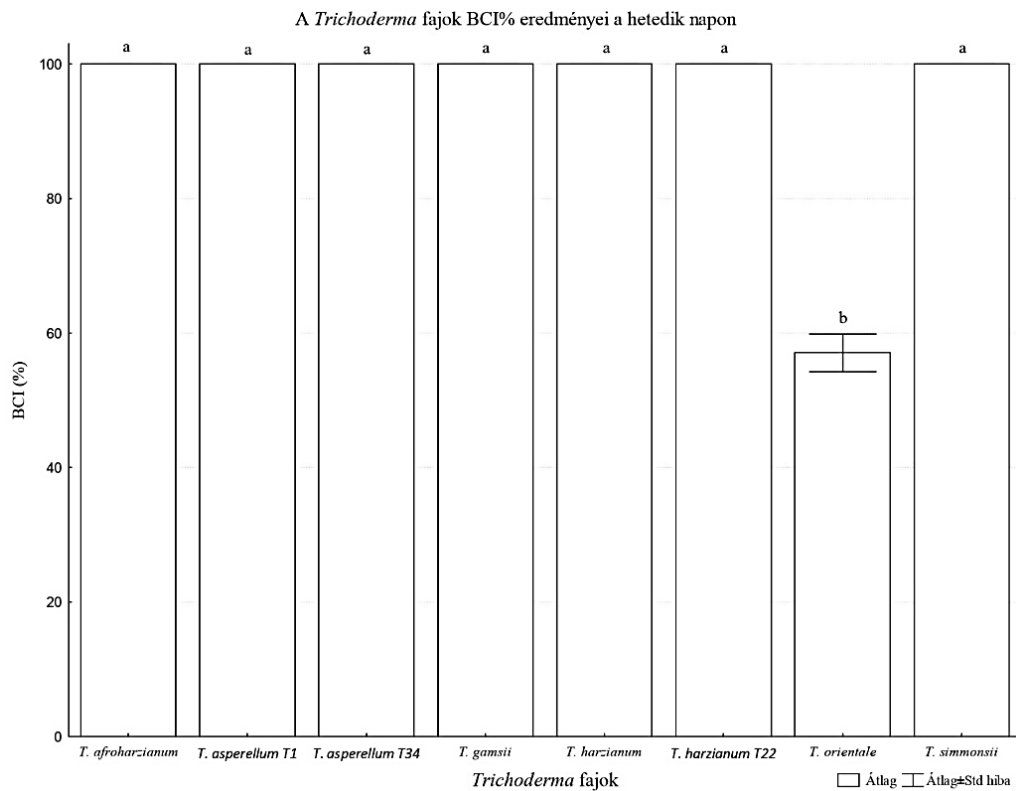
A mérés hatodik napjára a *T. afroharzianum* (TR04) és a *T. simmonsii* (TR05) is benőtte a Petri-csészét teljes terjedelmében. A mérés hetedik napjára a *T. orientale* (TR06) kivételével valamennyi izolátum ránőtt a patogénre (29. ábra).



29. ábra: A *Trichoderma* fajok hatékonysága a kórokozóval szemben a hatodik napon

A 28. ábra bal szélén a DENI_MacPha026-os izolátum 7 napos tenyésztete látható. Az izolátumra jellemző a bőséges mikroszklerócium és légmicélium képzés. Az ábrán balról jobbra a felső sorban a *T. harzianum* T22 (Trianum), *T. harzianum* (TR07), *T. asperellum* T34- es törzse (Trifender) *T. simmonsii* (TR05), az alsó sorban pedig a *T. gamsii* (TR08), *T. orientale* (TR06), *T. asperellum* T1-es törzse (Tigra) és a *T. afroharzianum* (TR04) *Macrophomina*-val szemben tesztelt tenyésztetei láthatók.

A vizsgálat záró napján a *T. orientale* (TR06) 57%-os a többi vizsgált *Trichoderma* faj 100%-os biokontroll indexet (%) mutatott (30. ábra). A kísérlet eredményeinek adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket használtuk. A statisztikai értékelés során csak a *T. orientale* és a vizsgált többi faj között tapasztaltunk szignifikáns eltérést.



30. ábra: A *Trichoderma* fajok BCI% eredményei a hetedik napon

4.5. A *Macrophomina phaseolina* elleni kémiai védekezési kísérlet eredményei

4.5.1. A *M. phaseolina phaseolina* elleni kémiai védekezés *in vitro* körülmények között

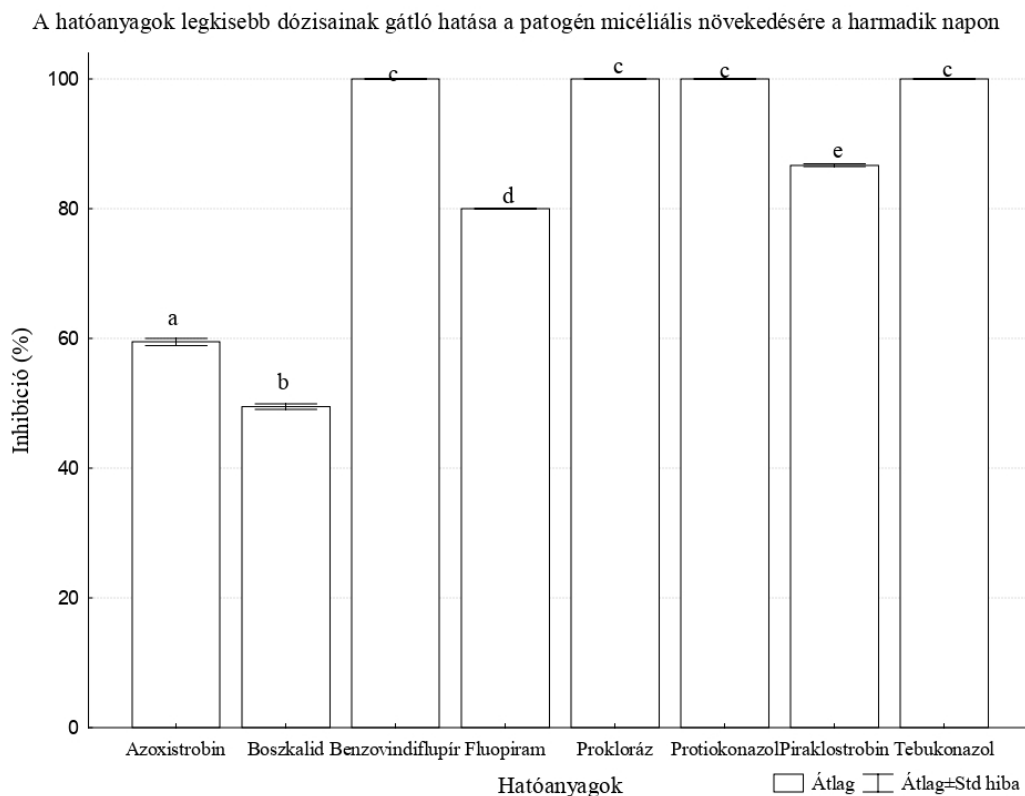
A vizsgálatban 8 különböző fungicid hatóanyagot vizsgáltunk a kórokozó micéliális növekedésére és mikroszklerócium képzésére vonatkozóan *in vitro* körülmények között (11. táblázat). A nyolc hatóanyagot hatásmechanizmusuk szerint 3 csoportba lehet sorolni: QoI, SDHI és DMI. A három csoportba tartozó hatóanyagokat tartalmazó készítményeket táptalajhoz adagoltuk, és a *Macrophomina* elleni hatásukat vizsgálatuk.

11. táblázat: A kísérletben vizsgált fungicid hatóanyagok főbb jellemzői

Hatóanyag	Származék	Csoport név	Hatásmechanizmus	FRAC
azoxistrobin	metoxi-akrilát	QoI (Quinone outside Inhibitors)	Mitokondriális légzést gátló CIII	11
boszkalid	piridin- karboxamid	SDHI (Succinate dehydrogenase inhibitors)	Mitokondriális légzést gátló CII	7
benzovindiflupír	pirazol-4- karboxamid			
fluopiram	piridin-etil- benzamid			
prokloráz	imidazol	DMI (DeMethylation Inhibitors)	Szterol bioszintézis gátló	3
protiokonazol	triazol		C14-demetiláz gátló	
piraklostrobin	metoxi- karbamát	QoI (Quinone outside Inhibitors)	Mitokondriális légzést gátló CIII	11
tebukonazol	triazol	DMI (DeMethylation Inhibitors)	Szterol bioszintézis gátló C14-demetiláz gátló	3

A mérgezett táptalajokon az első napon nem volt látható micélium növekedés, míg a kontroll Petri-csészében ekkor már ~30 mm átmérőjű micélium telepek voltak. A második napra az azoxistrobinnal és a boszkaliddal mérgezett táptalajon is látható volt micélium növekedés. A vizsgálat második napján a kísérletbe vont további hatóanyagokkal mérgezett táptalajok esetében nem volt látható micélium fejlődés. A micélium növekedés a kontroll (gombaölő szerrel nem kezelt) táptalajon a harmadik napra befutotta a Petri-csészét, ezért ezt vettük viszonyítási alapnak, és a kórokozó

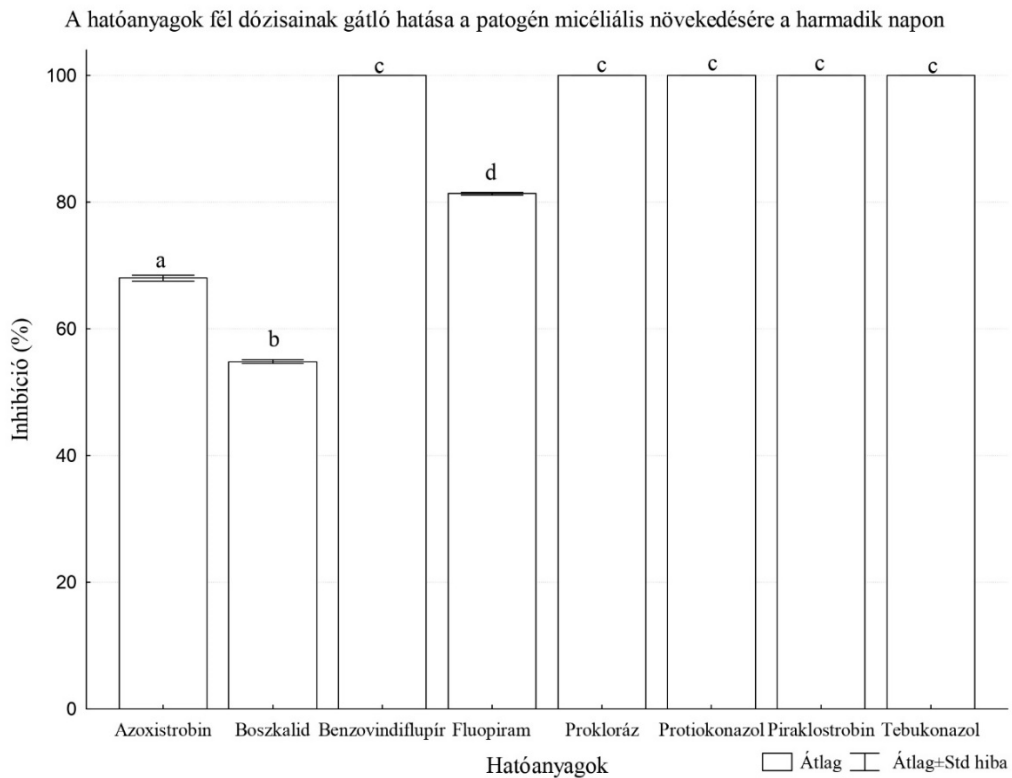
micéliális növekedését ezen a napon értékeltük (31. ábra). A kísérlet eredményeinek adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket használtuk. A harmadik napon a -legkisebb dózisban- az azoxistrobinnal (34,1 mm), a boszkaliddal (42,5 mm), a fluopirammal (18 mm) és a piraklostrobinnal (11,2 mm) kezelt táptalajon volt mérhető micélium telep. Az azoxistrobin és a piraklostrobin a QoI gátló csoportba tartozik, míg a boszkalid és a fluopiram az SDHI gátló csoportba tartozik. A benzovindiflupír szintén az utóbbi csoportba tartozik ám az ezzel a hatóanyaggal kezelt táptalajon nem növekedett micélium. A DMI csoportba tartozó hatóanyagokkal mérgezett táptalajon nem növekedett micélium telep.



31. ábra: A hatóanyagok legkisebb dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon

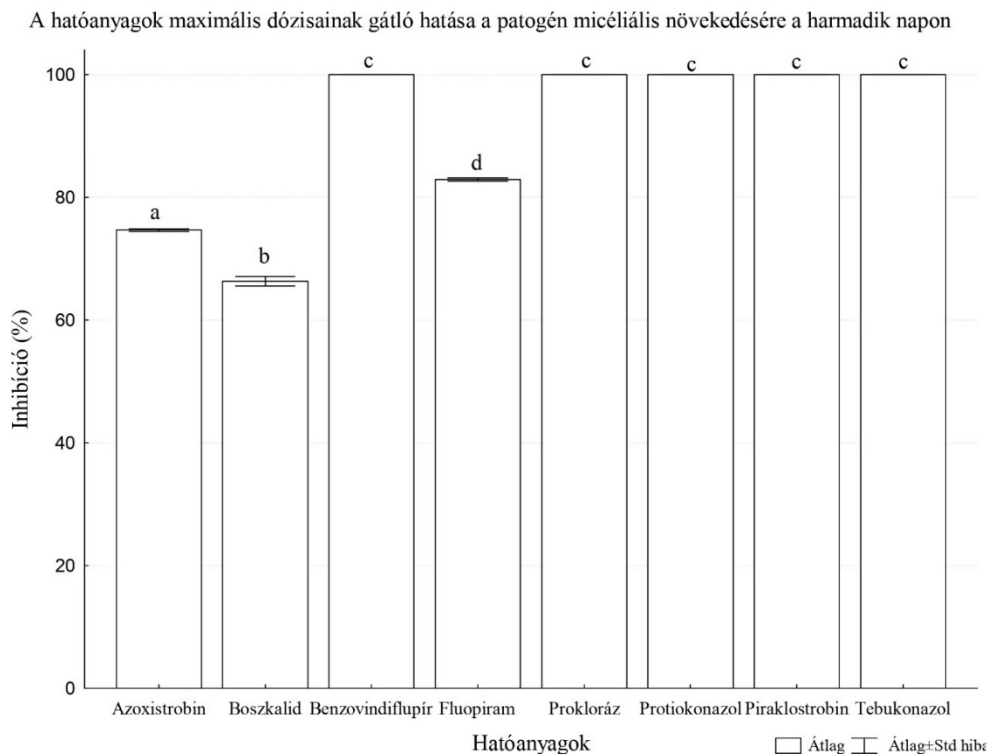
A vizsgált hatóanyagok az engedélyokiratukban szereplő maximális dózisainak felével végzett kísérlet eredményeinek adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket

használtuk. Az eredmények alapján (32. ábra) az azoxistrobinnal (26,9 mm), boszkaliddal (38 mm) és a fluopirammal (16,8 mm) kezelt táptalajokon növekedett a kórokozó. A szintén az SDHI csoportba tartozó benzovindiflupír totálisan gátolta a patogén növekedését. A piraklostrobin a dózis emelésével már totális gátlást gyakorolt a kórokozó micéliális növekedésére, csakúgy, mint a többi hatóanyag.



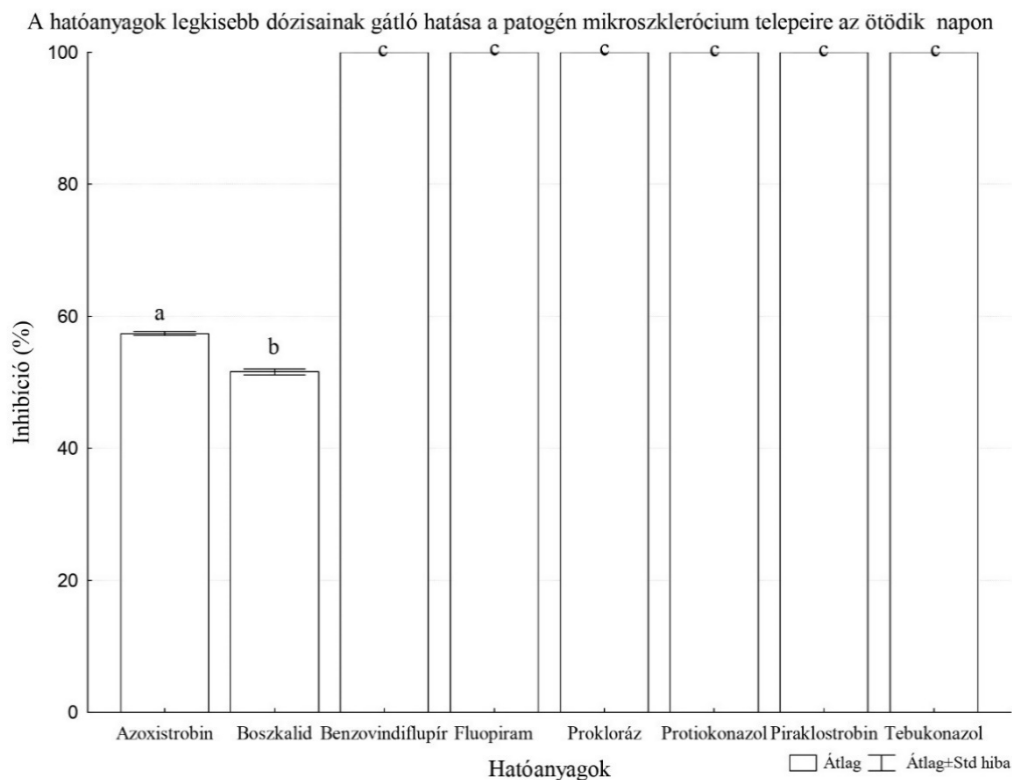
32. ábra: A hatóanyagok fél dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon

A vizsgált hatóanyagok az engedélyokiratban szereplő maximálisan kijuttatható dózisainak tesztelését a 33. ábra szemlélteti. A kísérlet eredményeinek adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket használtuk. Hasonlóképpen a közepes dózis eredményeihez a kórokozó csak az azoxistrobinnal (21,3 mm), boszkaliddal (28,3 mm) és a fluopirammal (15,4 mm) mérgezett táptalajon volt képes növekedni. Megállapítható, hogy a szisztemikus hatóanyagok által gyakorolt gátlási százalékok egyenesen arányosan növekedtek a dózis növekedésével.



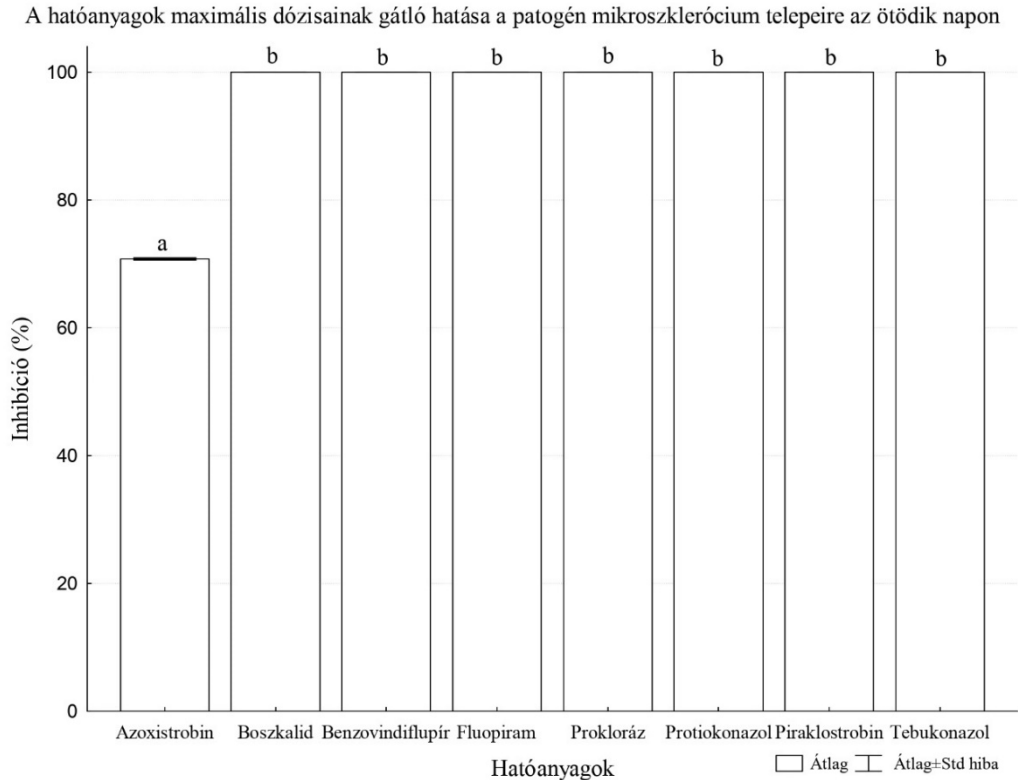
33. ábra: A hatóanyagok maximális dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon

A vizsgálatba vont hatóanyagok mikroszklerócium képzésre kifejtett hatékonyságát az 5. napon értékeltük. A kísérlet eredményeinek adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket használtuk. A kontroll táptalajon fejlődő patogén a harmadik napon már képzett mikroszklerócium telepet, azonban az csak az ötödik napra érte el a Petri-csésze szélét. A vizsgálat harmadik napjára még egyik mérgezett táptalajon sem képződött mikroszklerócium telep. A negyedik napra az azoxistrobinnal a legkisebb dózisban kezelt táptalajon már megfigyelhető volt mikroszklerócium telep (30,4 mm). Az ötödik napra az azoxistrobinnal legkisebb dózisban mérgezett táptalajon a mikroszklerócium telep 36 mm átmérőjű volt (34. ábra), amely 57%-os gátlási eredményt jelent. Az azoxistrobin mellett az ötödik napra a boszkaliddal kezelt táptalajon szintén képződött mikroszklerócium telep (40,9 mm), amely 51%-os gátlásnak felel meg. A kísérletben használt többi hatóanyaggal mérgezett táptalajon (csoportosítástól függetlenül) nem képződött mikroszklerócium a legkisebb tesztelt dózisok esetében.



34. ábra: A hatóanyagok legkisebb dózisainak gátló hatása a patogén mikroszklerócium telepeire az ötödik napon

A közepes dózison a boszkaliddal kezelt táptalajon nem képződött mikroszklerócium telep, az azoxistrobinnal kezelt táptalaj esetében viszont igen. Az azoxistrobin esetében 27,6 mm átmérőjű telep képződött, ami 67%-os gátlásnak felel meg. A hatóanyagok maximális dózisainak használatakor a kapott eredmények adatsora a Levene teszt ($p < 0,05$) és a hisztogramok értékelése alapján nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek, ezért a statisztikai elemzéshez a Kruskal-Wallis és Mann-Whitney U teszteket használtuk. A legnagyobb dózisok esetében (35. ábra) csak az azoxistrobinnal kezelt táptalajon képződött mikroszklerócium telep (24,7 mm). A gátlási százalék ebben az esetben 71% volt.



35. ábra: A hatóanyagok maximális dózisainak gátló hatása a patogén mikroszklerócium telepeire az ötödik napon

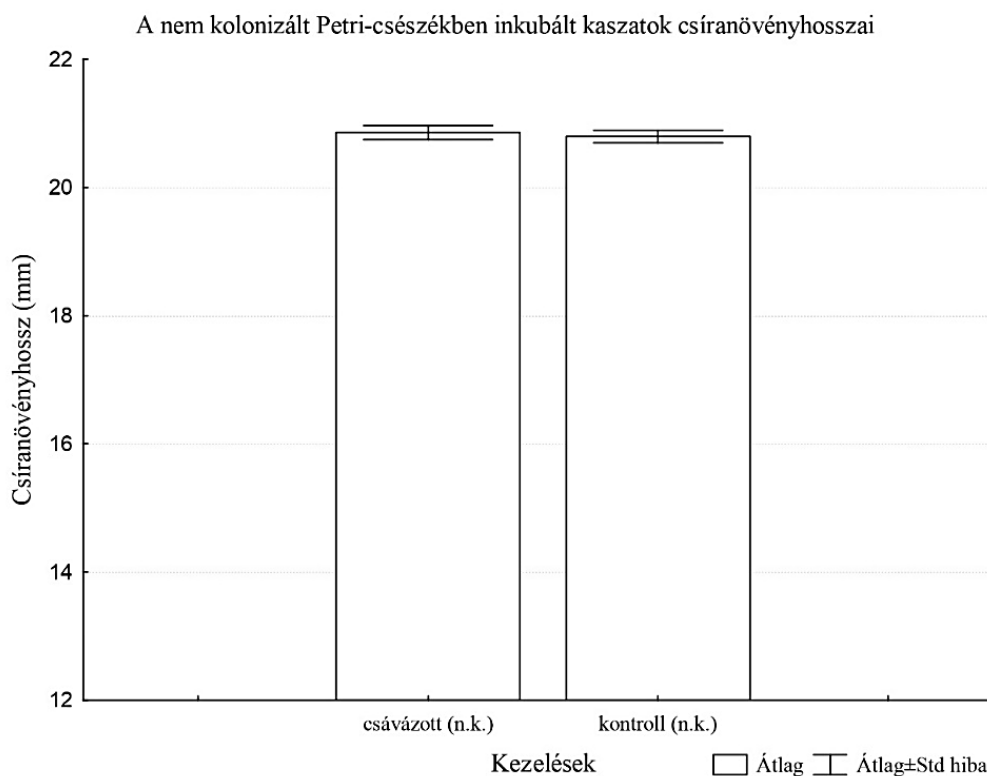
4.5.2. Prokloráz hatóanyag csávázó hatásának tesztelése Petri-csészékben

A Syngenta Magyarország Kft. a kísérlethez biztosított nem csávázott 1. osztályú NK Neoma vetőmagot használtuk a teljes kísérlet folyamán. A prokloráz, mint csávázószer hatóanyag Magyarországon nem engedélyezett, az Európai Unió kívül korábban használták ilyen formában. Korábbi teszteléseink során a leghatékonyabbnak bizonyult a kórokozóval szemben már kis koncentrációban is, ezért kísérletünk alapjául szolgált. Az inkubálás során fejlődött csíranövénykezdeményt a kísérlet 10. napján értékeltük (12. táblázat).

12. táblázat: A kolonizált és nem kolonizált Petri-csészékben inkubált csíranövények mérete (mm) a kezelések függvényében

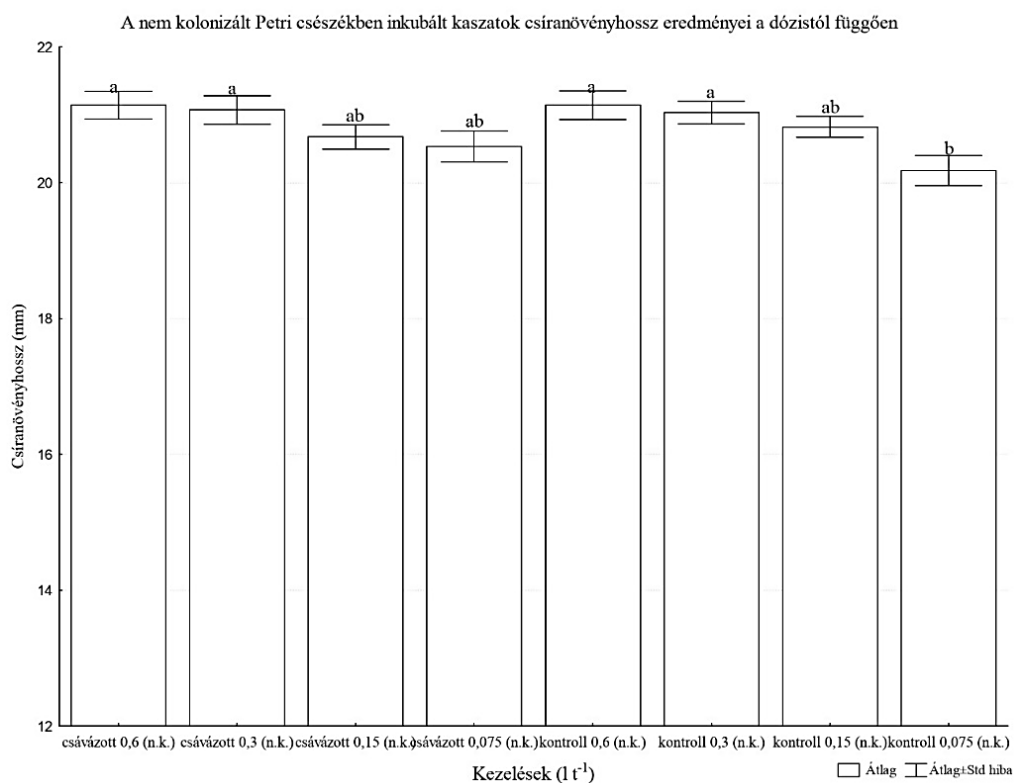
	1. ismétlés	2. ismétlés	3. ismétlés	4. ismétlés
Kolonizált Petri-csészék				
prokloráz (0,6 l t ⁻¹)	21,14	21	20,71	20,42
prokloráz (0,3 l t ⁻¹)	21	20,57	20,28	21,28
prokloráz (0,15 l t ⁻¹)	20,86	20,86	20,29	20,29
prokloráz (0,075 l t ⁻¹)	20,57	20,86	20,43	20,29
kontroll (0,6 l t ⁻¹)	13,71	13,71	13,42	13,42
kontroll (0,3 l t ⁻¹)	12,71	13	13,14	13,14
kontroll (0,15 l t ⁻¹)	12,86	12,57	12,86	13,57
kontroll (0,075 l t ⁻¹)	11,85	12,57	12,85	13,14
Nem kolonizált Petri-csészék				
prokloráz (0,6 l t ⁻¹)	21,29	21	21,14	21,14
prokloráz (0,3 l t ⁻¹)	21	21	21	21,29
prokloráz (0,15 l t ⁻¹)	20,43	20,43	21,14	20,71
prokloráz (0,075 l t ⁻¹)	20,86	20,86	20,14	20,28
kontroll (0,6 l t ⁻¹)	21,57	21,28	20,14	21,57
kontroll (0,3 l t ⁻¹)	20,28	21,14	20,86	20,86
kontroll (0,15 l t ⁻¹)	21	20,74	20,29	21,28
kontroll (0,075 l t ⁻¹)	20,14	20	20	20,57

A csávázószer fitotoxikus hatását a 36. ábra szemlélteti. A Levene teszt alapján ($p < 0,6627$), valamint a hisztogramok értékelése során az adatsor megfelel parametrikus tesztek feltételeinek. A dózistól függetlenül a csávázott és nem csávázott kaszatok csíranövényhossz eredményeiből egyértelműsíthető, hogy a prokloráz nem volt fitotoxikus hatással a napraforgó csíra fejlődésére. A T próba szerint két kezelés között nincs szignifikáns eltérés ($p < 0,6684$).



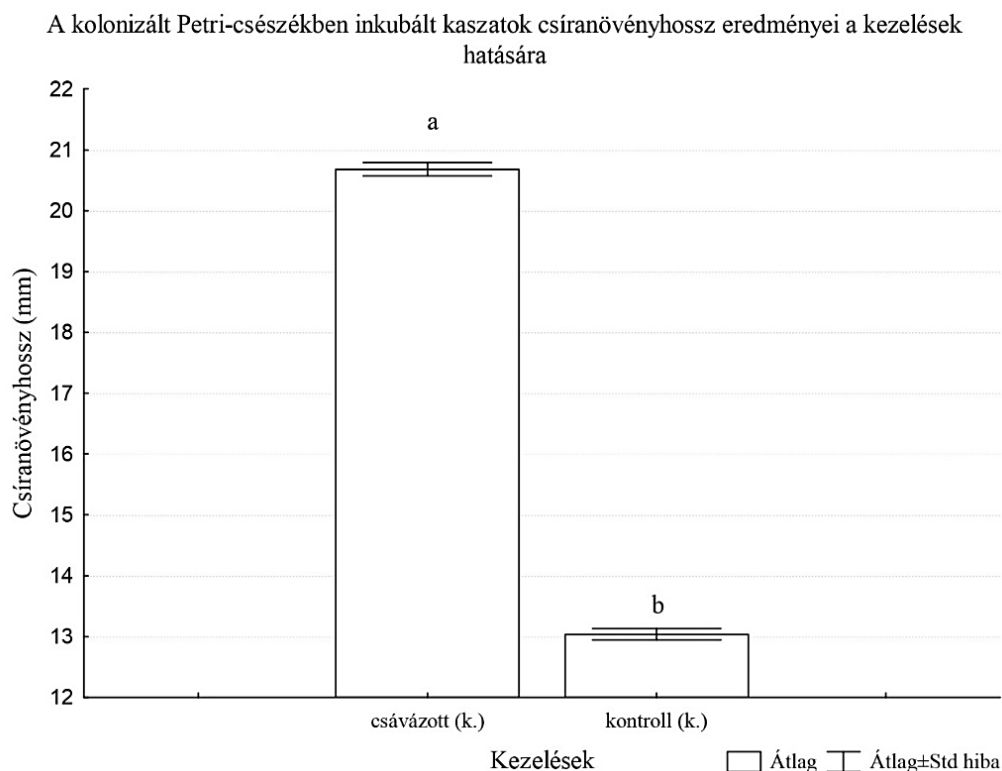
36. ábra: A nem kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhosszai (csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt; n.k.: patogénnel nem kolonizált Petri-csésze)

A prokloráz fitotoxikus hatását a dózistól függően a 37. ábra szemlélteti. A Levene teszt ($p < 0,2177$) és a hisztogramok elemzése alapján az adatsor megfelel parametrikus tesztek feltételeinek. Szignifikáns eltérés nem tapasztalható a csávázott $0,6 \text{ l t}^{-1}$, a csávázott $0,3 \text{ l t}^{-1}$, a kontroll $0,6 \text{ l t}^{-1}$, valamint a kontroll $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózisú kaszatok csíranövényhosszai között. A statisztikai értékelés során megállapítható, hogy a csávázó szer nem volt fitotoxikus hatással a két legnagyobb dózisban a csíranövényekre. A legkisebb átlagos csíranövényhosszt a kontroll $0,075 \text{ l t}^{-1}$ -nál tapasztaltuk, feltehetően a felületkezelésnél használt kisebb mennyiségű víz volt szignifikáns hatással a csírázásra.



37. ábra: A nem kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a dózistól függően (csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt; n.k.: patogénnel nem kolonizált Petri-csésze)

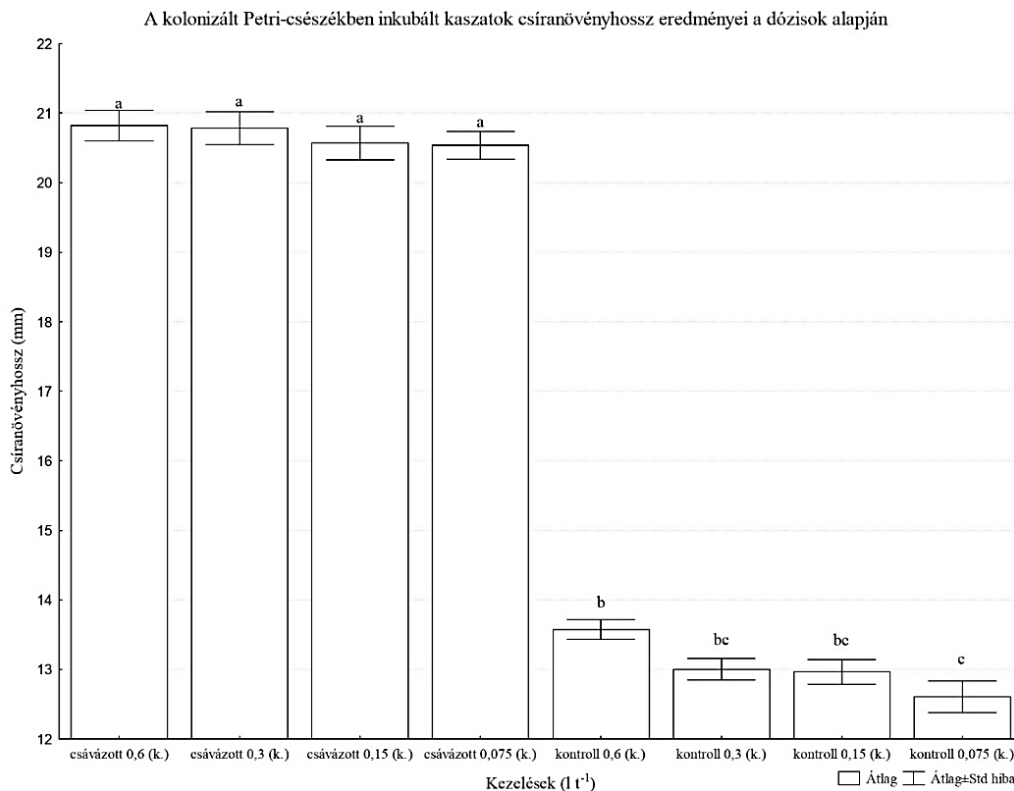
A dózisoktól függetlenül a *M. phaseolina* tisztatenyészetben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményeit a 38. ábra szemlélteti. A csávázott és a csávázatlan (kontroll) kaszatok csíranövényhossz adatsora a Levene teszt értéke ($p < 0,0324$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg parametrikus tesztek feltételeinek. A Mann-Whitney U teszt szerint ($p < 0,05$) a két kezelés között szignifikáns eltérés tapasztalható. A csávázószerrel kezelt kaszatok csíranövényhossz eredményei és a kontroll kaszatok csíranövényhossz eredményei között a 10. napra átlagosan 7,64 mm különbség volt detektálható. Igazoltuk, hogy a kórokozó csíranövényfertőző és visszafogja annak növekedését.



38. ábra: A kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a kezelések hatására

(csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt; k.: patogénnel kolonizált Petri-csésze)

A dózistól függően a *M. phaseolina* tisztanyézetben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményeit a 39. ábra mutatja be. Adatsoraink a Levene teszt ($p < 0,0151$) és a hisztogramok elemzése alapján nem felelnek meg parametrikus tesztek feltételeinek. A nem parametrikus Kruskal Wallis teszt alapján ($p < 0,05$) szignifikáns eltérés tapasztalható az adatsor valamely két oszlopa között. A Mann-Whitney U teszt szerint ($p < 0,05$) a csávázott kaszatok és a kontroll kaszatok között szignifikáns eltérés tapasztalható. A csávázott kaszatok között nem tapasztalható szignifikáns eltérés. A kontroll $0,6 \text{ l t}^{-1}$ dózis és a kontroll $0,075 \text{ l t}^{-1}$ dózis között tapasztalható szignifikáns eltérés. A kontroll kaszatok közötti szignifikáns eltérés feltehetően a kezdeti többlet vízmennyiség miatt alakulhatott ki. A nagyobb dózisban kezelt kaszatokból fejlődött csíranövények hosszabbnak bizonyultak. A csávázás jótékony hatással bírt a csíranövények méretére. A kórokozó negatívan befolyásolta a proklorázzal nem kezelt kaszatok csíranövényeit.



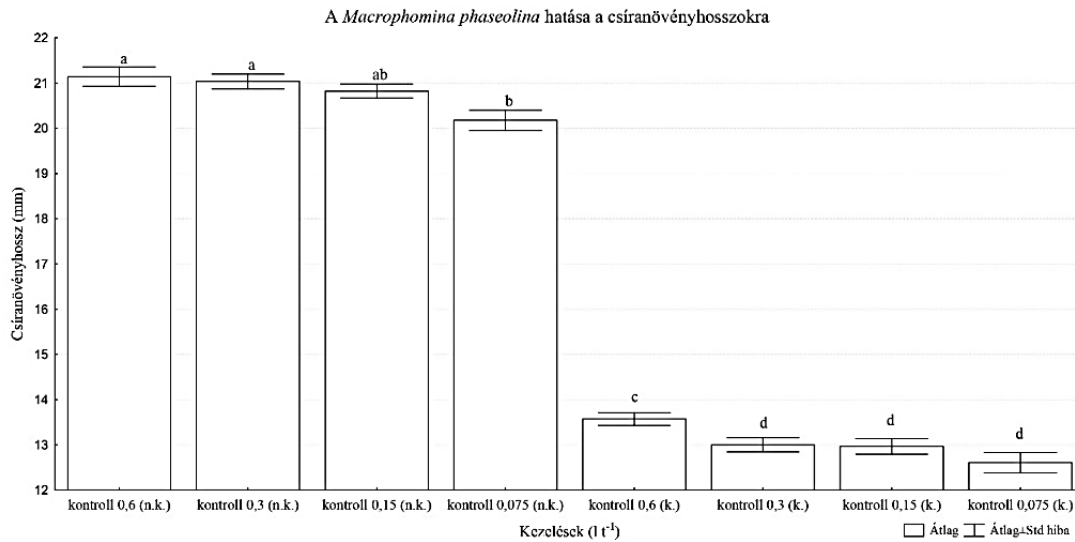
39. ábra: A kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a dózisok alapján

(csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt; k.: patogénnel kolonizált Petri-csésze)

A prokloráz fitotoxikus hatását a kolonizált és nem kolonizált Petri-csészékben inkubált csávázott kaszatok esetében vizsgáltuk. Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,5569$) és a hisztogramok értékelése szerint megfelel a parametrikus tesztek feltételeinek. A Tukey teszt szerint az eredmények között nincs szignifikáns eltérés. A kolonizált és nem kolonizált Petri-csészékben inkubált csávázott kaszatok csíranövényei a tizedik napon közel azonos méretűek (~21 mm) voltak. Megállapítható, hogy a csávázószer nem csak hatékonyan bizonyult a *M. phaseolina* korai fertőzésének megakadályozásában, de fitotoxikus hatással sem volt a csíranövényekre.

A *M. phaseolina* a nem csávázott kaszatokra nagymértékű befolyással volt (40. ábra). Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,0358$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Mann-Whitney U teszt szerint a nem kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei és a kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei között szignifikáns eltérés tapasztalható. A kolonizált Petri-csészékben inkubált 0,6 l t⁻¹ dózisban

vízzel kezelt kaszatok esetében szignifikáns eltérést detektáltunk a többi kolonizált kaszatok dózisaihoz képest. Megállapítható, hogy a kórokozó jelenléte befolyásolta a csíranövények növekedését. A patogén a számára megfelelő hőmérsékleti viszonyok között visszafogta a növények kezdeti fejlődését.



40. ábra: *A Macrophomina phaseolina hatása a csíranövényhosszokra*

(n.k.: patogénnel nem kolonizált termesztőközeg; k.: patogénnel nem kolonizált termesztőközeg; csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt)

A vizuális eredmények alapján megállapítottuk, hogy a kontroll kaszatokon valemennyi esetben a kórokozó micéliumot és mikroszkleróciumokat képzett (41. ábra). A proklorázzal 0,15 t⁻¹ dózissal és 0,075 t⁻¹ dózissal történt kezeléskor a kaszatokon tapasztalható volt némi micélium, azonban mikroszkleróciumok nem képződtek. A proklorázzal 0,3 t⁻¹, valamint a 0,6 t⁻¹ dózissal kezelt kaszatok esetében nem volt tapasztalható micélium a kaszatok felületén (42. ábra), ezért ezt a két dózist vizsgáltuk tovább.



41. ábra: Proklorázzal nem kezelt kaszaton megjelenő *M. phaseolina* micélium



42. ábra: Proklorázzal kezelt kaszat

4.5.3. A tenyészedényes kísérlet eredményei

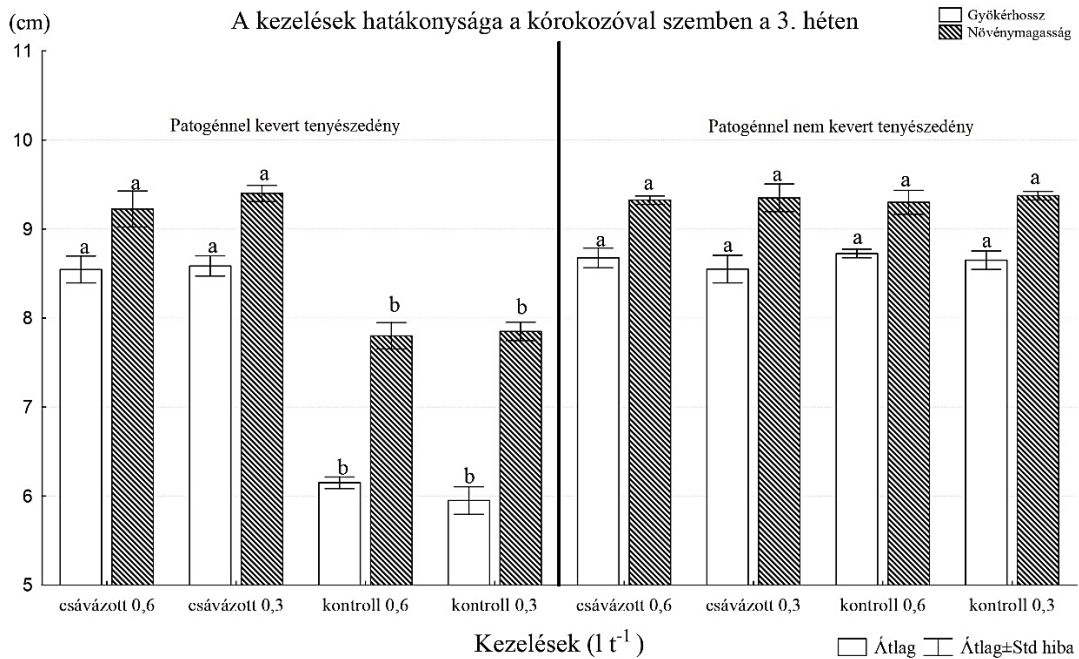
A Petri-csészékben tesztelt hatóanyag dózisok közül azok eredményessége miatt a $0,6 \text{ l t}^{-1}$, valamint a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózist teszteltük a tenyészedényes kísérletben. A többi dózis nem bizonyult hatékonynak a patogén kolonizációja ellen.

Vizsgáltuk a kaszatok csírázását is. Az elvetett magok több mint 98%-a zavartalanul csírázott.

A harmadik héten kapott eredményeket a 43. ábra szemlélteti. A harmadik héten értékelt növények esetében a gyökérhosszúság adatok a Levene teszt értéke ($p < 0,5899$) és a hisztogramok elemzése alapján megfelelnek a parametrikus tesztek feltételeinek. A Tukey teszt alapján a csak a *M. phaseolina* micéliumával kevert tenyészedényben növekedett kontroll növények mutattak szignifikáns eltérést a többi vizsgált növényvel szemben. Az eredmények alapján elmondható, hogy a kórokozó a harmadik héten már visszafogta a napraforgó növények gyökérnövekedését. A kísérlet eredményei szerint a patogénnel kevert tenyészedényben nevelt, csávázó szerrel kezelt növények és a patogénnel nem kevert tenyészedényben fejlődött növények között szignifikáns eltérés nem volt tapasztalható. A csávázó szer a harmadik héten a gyökérhossz tekintetében hatékonyan bizonyult a kórokozóval szemben.

A harmadik héten értékelt növények esetében azok magasság adatai a Levene teszt értéke ($p < 0,3905$) és a hisztogramok elemzése alapján megfelelnek a parametrikus tesztek feltételeinek. A Tukey teszt alapján a növények magasság adatai között szignifikáns eltérés volt tapasztalható a *M. phaseolina* mikroszkleróciumaival kevert tápközegben fejlődött nem csávázott növények és a többi vizsgált növény

vonatkozásában. A csávázó szerrel kezelt növények esetében a növénymagasság tekintetében nem volt visszaesés, a szer hatékonyan védte a növényt a kórokozóval szemben.



43. ábra: A kezelések hatékonysága a kórokozóval szemben a harmadik héten a gyökérhossz és növénymagasság adatok alapján

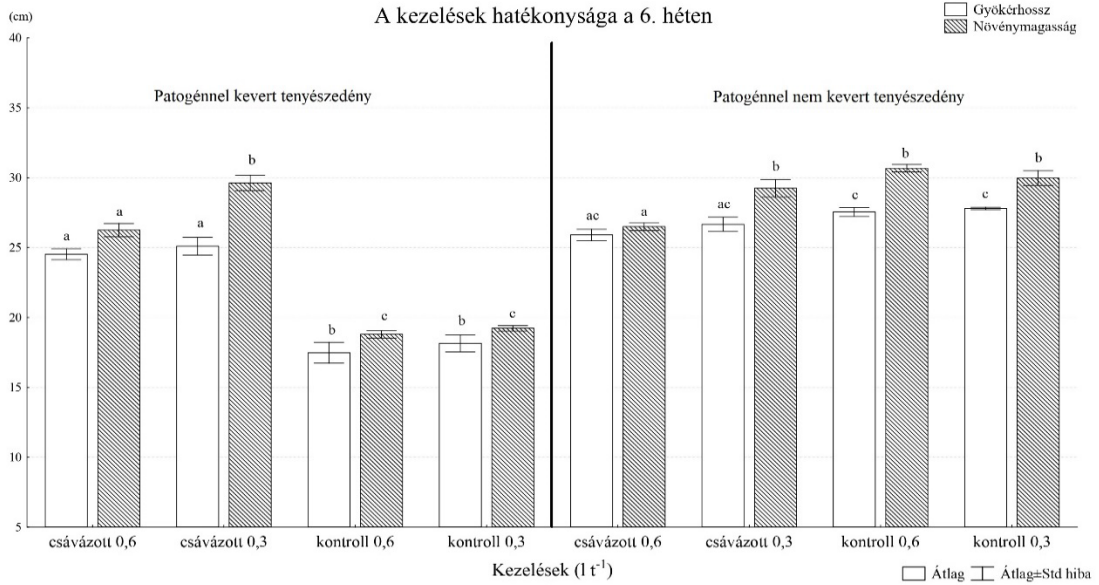
A hatodik héten értékelt növények esetében a gyökérhosszúság adatok a Levene teszt értéke ($p < 0,0799$) és a hisztogramok elemzése alapján megfelelnek a parametrikus tesztek feltételeinek (44. ábra).

A Tukey teszt eredményei szerint szignifikáns eltérés tapasztalható a *M. phaseolina* mikroszkleróciumaival telt tenyészvényben nevelt növények gyökérhossz értékei és a többi vizsgált növény gyökérhossz értékei között. A legkisebb gyökérhosszt az előbb említett vizsgálat eredményezte, a 0,6 l t⁻¹-os dózisban vízzel kezelt kaszatok esetében a növények 17,47 cm, míg a 0,3 l t⁻¹-dózisban vízzel kezelt kaszatok esetében a növények 18,15 cm hosszúságú gyökeret fejlesztettek. A két kezelés között szignifikáns eltérés nem volt mérhető. A csávázott vetőmagvak esetében a kórokozó jelenléte nem volt befolyásoló tényező a növények gyökereinek hosszúságára nézve. A *M. phaseolina* mikroszkleróciumokkal kevert tápközegben nevelt 0,6 l t⁻¹-os dózisban csávázott kaszatok esetében a növények 24,52 cm, a 0,3 l t⁻¹ dózis esetében 25,1 cm hosszúságú gyökérzetet fejlesztettek. A két érték között szignifikáns eltérés nem volt tapasztalható.

A patogénnel nem kevert tenyészedényekben nevelt növények között (függetlenül a kezelésektől) nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a gyökérhossz tekintetében. A patogénnel nem kevert tenyészedényben nevelt növények esetében a csávázott növények és a patogénnel kevert tenyészedényben növekedett csávázott növények között nem volt szignifikáns eltérés, tehát a csávázás meggátolta a kórokozó károsítását a gyökérhosszúságra vetítve. A legnagyobb gyökérhosszúságot a patogénnel nem kevert tenyészedényekben nevelt kontroll növények esetében mértünk. A Levene teszt alapján ($p < 0,1823$) és a hisztogramok elemzése során megállapítható, hogy a növénymagasság adatsor értékei megfelelnek a parametrikus tesztek feltételeinek.

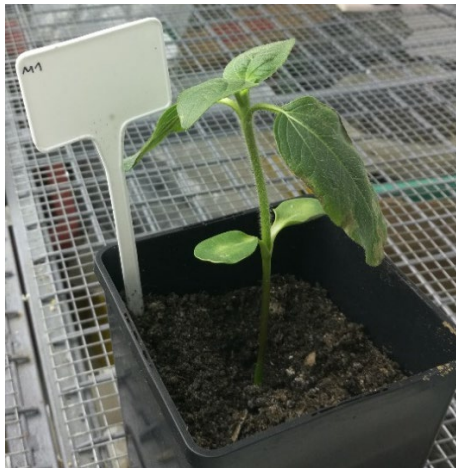
A Tukey teszt szerint szignifikáns eltérés tapasztalható a patogénnel kevert tenyészedényekben nevelt két csávázott dózis között a növénymagasság tekintetében. Mindkét kezelés különbözött a patogénnel kevert tenyészedényben nevelt kontroll növények értékeitől. A legkisebb növénymagasságot a patogénnel kevert tenyészedékben nevelt kontroll növények esetében tapasztaltunk, mindösszesen 18,8 cm és 19,22 cm.

A Tukey teszt szerint a patogénnel nem kevert tenyészedényekben csak a $0,6 \text{ l t}^{-1}$ -ban kezelt növények különböztek szignifikánsan a többi kezelt növénytől. A legalacsonyabb növénymagasságot a patogénnel nem kevert tenyészedényekben a legnagyobb dózisban csávázott ($0,6 \text{ l t}^{-1}$ -ban) növények esetében mértük (26 cm). A patogénnel nem kevert tenyészedényekben nevelt $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózisban csávázott növények nem mutattak szignifikáns eltérést a nem csak ebben a dózisban kevert csávázott növényektől, hanem a vízzel kezelt növényektől sem. Ez az eredmény megerősíti, hogy a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózisban a prokloráz hatóanyaggal kezelt növények esetében nem volt fitotoxikus hatás.



44. ábra: A kezelések hatékonysága a 6. héten

A vizuális diagnózis során a 0,6 l t⁻¹ hatóanyaggal kezelt növények esetén tapasztaltunk fitotoxikus hatást (45. ábra). A növények levelei lankadtak, majd nekrotikus foltok jelentek meg rajtuk. Ezért a nem fitotoxikus (46. ábra) 0,3 l t⁻¹ dózist vizsgáltuk tovább.



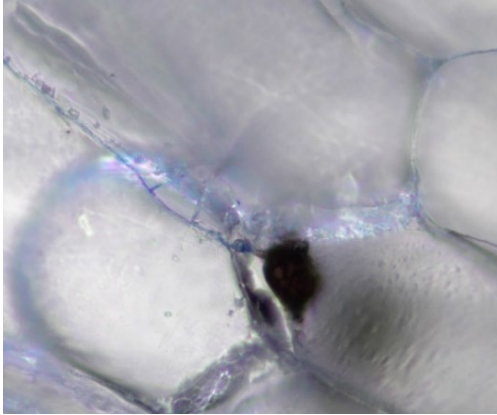
45. ábra: A 0,6 l t⁻¹ dózis okozta fitotoxikus tünet



46. ábra: Egy a 0,3 l t⁻¹ dózissal kezelt egészséges napaforgó növény

Az első penetráció a nem csávázott növények esetében a 3. héten történt. A csávázatlan növényekben az első mikroszklerócium képződés (47. ábra) a 6. héten történt. A csávázott növények esetében a 6. hétig nem volt megfesthető micélium penetráció. A

hatodik héten megfestett micélium árulkodó jel volt a kórokozó sikeres penetrációjára, amely tényt megerősítette a PDA táptalajra oltott gyökérdarab inkubálását követő tisztatenyészet elemzése (48. ábra).



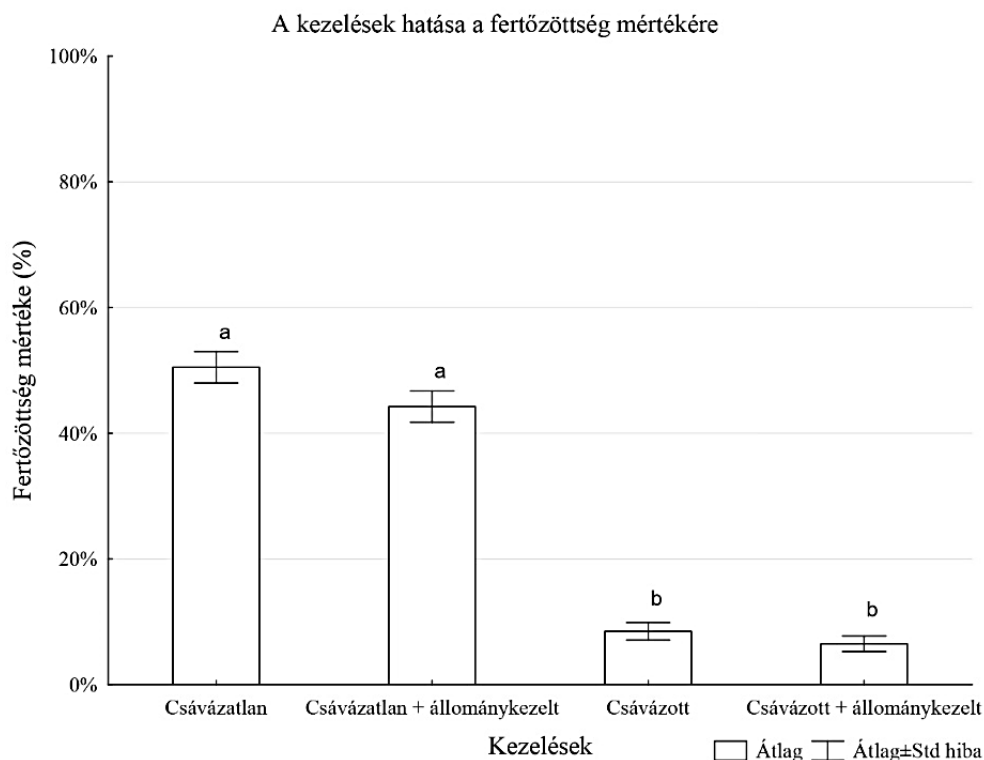
47. ábra: Napraforgó bélszövetben képződött mikroszklerócium



48. ábra: A napraforgó szövet darabok inkubálása PDA táptalajon a 7. napon

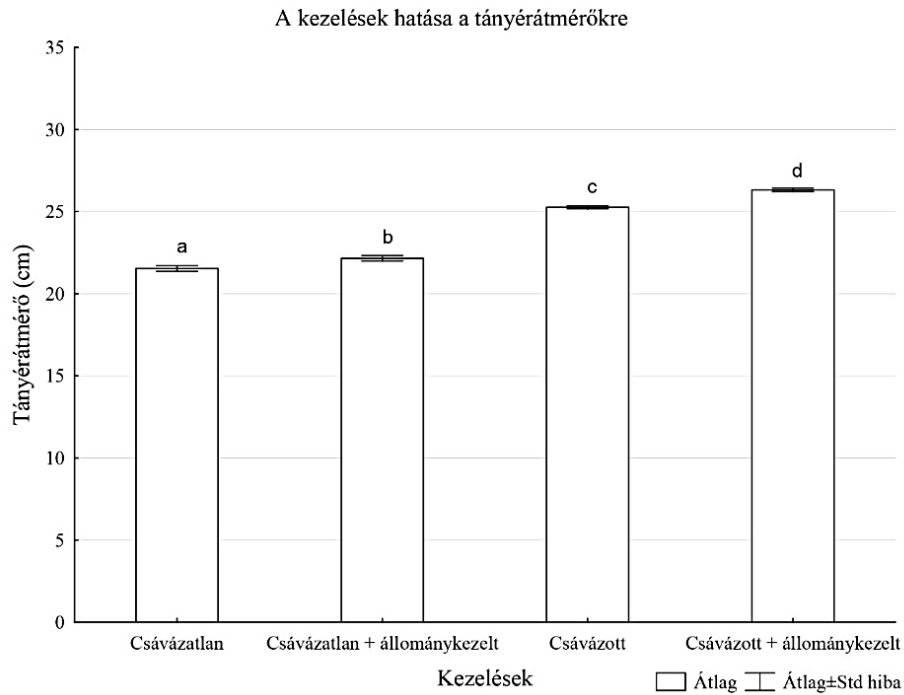
4.5.4. A prokloráz tesztelése szántóföldi körülmények között

A tenyészedényes vizsgálat során választott dózissal ($0,3 \text{ l t}^{-1}$) csáváztuk a vetőmagokat. Az állománykezelést az engedélyokiratban szereplő 1 l/ha dózissal végeztük egy alkalommal. Vizsgálatuk a *M. phaseolina* százalékos előfordulását a kezelések függvényében (49. ábra). Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Kruskal Wallis teszt értéke ($p < 0,05$) szerint az adathalmazban valahol szignifikáns eltérés tapasztalható. A Mann-Whitney U teszt szerint a csávázatlan nem állománykezelt és a csávázatlan, de egy alkalommal állománykezelt parcellák között nem volt szignifikáns eltérés. A fertőzöttség mértéke a nem állománykezelt parcellákban ($53,8\%$) magasabb volt, mint az egyszer állománykezelt parcellákban ($45,75\%$). A csávázott, de nem állománykezelt parcellákban átlagosan $8,26\%$ volt a fertőzöttség mértéke, míg az egyszer állománykezelt parcellákban $6,52\%$. A két kezelés között nem volt statisztikailag értékelhető szignifikáns különbség. A nem csávázott és csávázott kezelések között szignifikáns eltérést detektáltunk ($p > 0,005$). Az állománykezelés nem volt jelentős hatással a fertőzöttség mértékére.



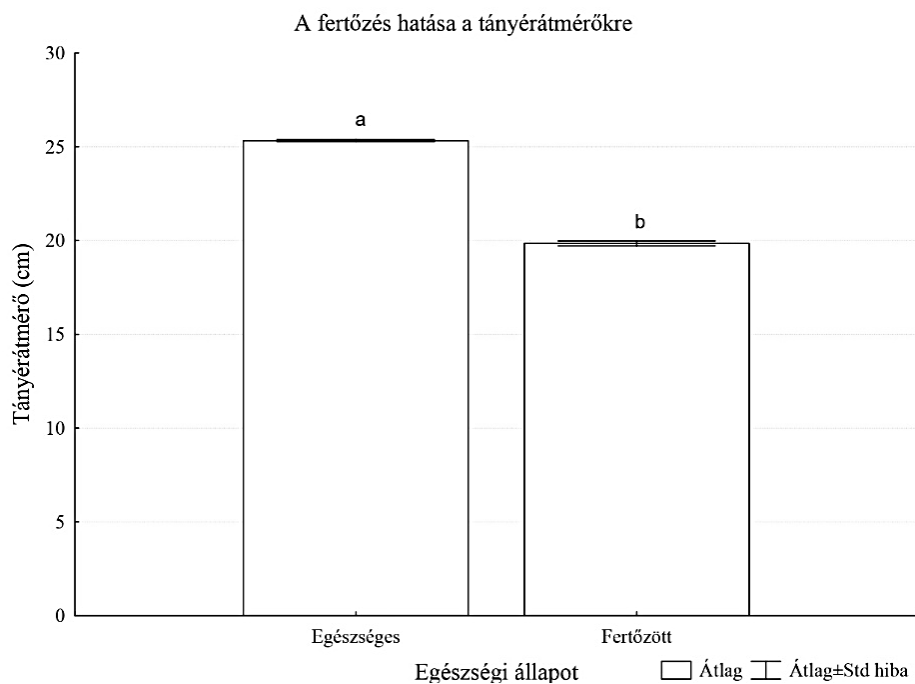
49. ábra: A kezelések hatása a *M. phaseolina* fertőzöttség mértékére

Vizsgáltuk a kezelések hatását a parcellákból gyűjtött 100 növény átlagos tányérátmérőire (50. ábra) együttesen vonatkoztatva. Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Kruskal Wallis teszt értéke ($p < 0,05$) szerint az adathalmazban valahol szignifikáns eltérés tapasztalható. A Mann-Whitney U teszt szerint valamennyi kezelés között szignifikáns eltérést tapasztaltunk. Az állománykezelés mind a két esetben nagyobb átlagos tányérátmérőt eredményezett. A legnagyobb átlagos tányérátmérőt (26,6 cm) a csávázott + állománykezelés parcellákban detektáltunk. A legkisebb átlagos tányérátmérőt a csávázatlan parcellákban mértük (21,56 cm). A csávázatlan, de egy alkalommal állománykezelés parcellákban átlagosan 22,18 cm-es tányérokat mértünk, míg a csávázott, de nem állománykezelés parcellákban 25,3 cm-t. A csávázás és az állománykezelés is szignifikáns hatással volt az átlagos tányérátmérőkre a kezelt parcellákban.



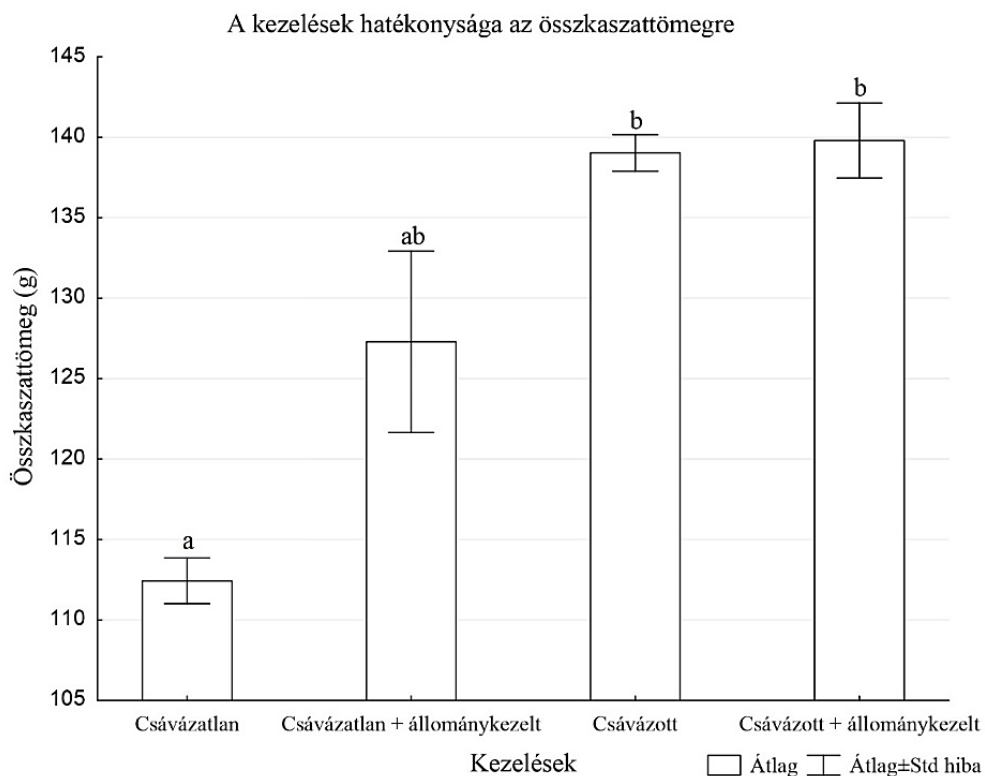
50. ábra: A kezelések hatása a tányérátmérőkre

A kezelésektől függetlenül vizsgáltuk az egészséges és fertőzött tányérok közötti átmérőre vonatkozó eltéréseket (51. ábra). Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Mann-Whitney U teszt értéke ($p < 0,05$) szerint a fertőzés szignifikáns hatással volt a tányérátmérőkre.



51. ábra: A fertőzés hatása a tányérátmérőkre

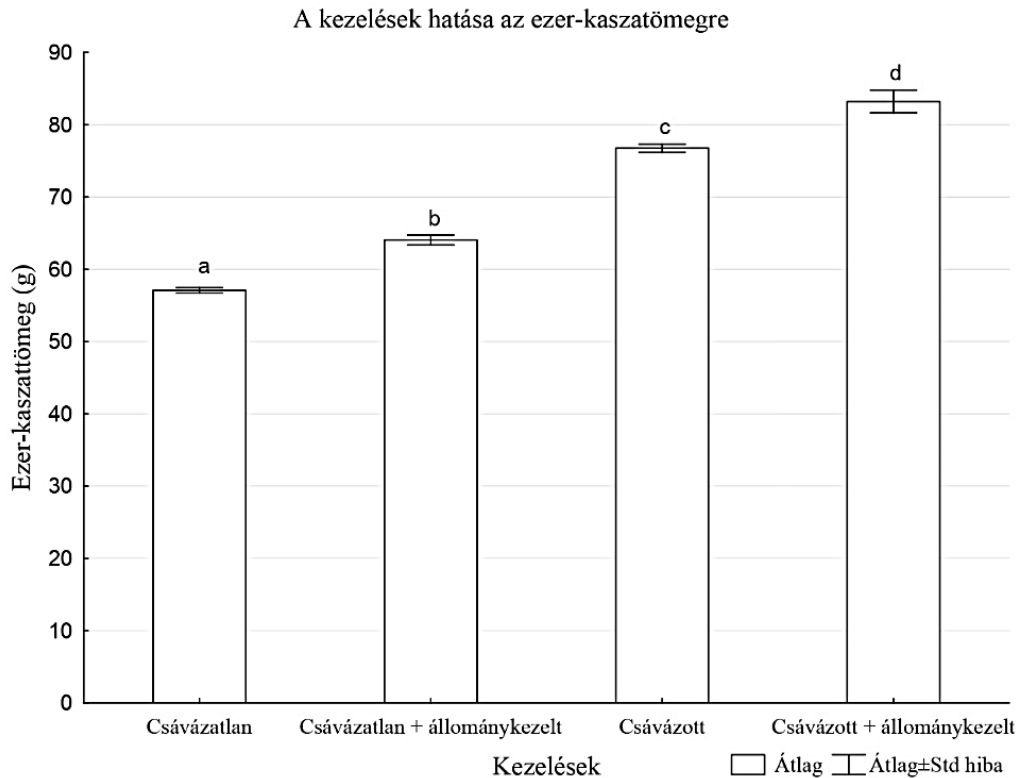
Vizsgáltuk a kezelések hatékonyságát a tányérokból kicsépelte kaszatok össztömegére (52. ábra) együttesen vonatkoztatva. Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Kruskal Wallis teszt értéke ($p < 0,05$) szerint az adathalmazban valahol szignifikáns eltérés tapasztalható. A Mann-Whitney U teszt szerint a csávázatlan parcellákban 110-115 gramm között mértük a tányérokba kicsépelte kaszatok tömegét, míg a csávázatlan és egyszer állománykezelte tányérok esetében 120-125 g-ot mértünk. A csávázatlan, valamint a csávázott és a csávázott + állománykezelte parcellák között szignifikáns eltérést detektáltunk. A csávázás hiánya átlagosan ~25 gramm összkaszattömeg veszteséget okozott.



52. ábra: A kezelések hatékonysága az összkaszattömegre

Vizsgáltuk a kezelések hatékonyságát az ezerkaszatömegre (53. ábra). Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint nem felel meg a parametrikus tesztek feltételeinek. A Kruskal Wallis teszt értéke ($p < 0,05$) szerint az adathalmazban valahol szignifikáns eltérés tapasztalható. A Mann-Whitney U teszt szerint a kezelések szignifikáns hatással voltak az ezerkaszatömegre. A legnagyobb értékű ezerkaszatömeget a csávázott és egy alkalommal állománykezelte parcellákban

mértük (83 gramm), míg a legkisebb a csávázatlan és nem állománykezelt parcellákban volt, mindösszesen 57 gramm ezerkaszattömeg.



53. ábra: A kezelések hatékonysága az ezerkaszattömegre

Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint megfelel a parametrikus tesztek feltételeinek. A Tukey teszt szerint a kezelések nem voltak hatással a parcellákból gyűjtött kaszatok olajtartalmára. A kaszatok egészségügyi állapottól függetlenül több, mint 50%-os olajtartalommal rendelkeztek. A kezelések nem voltak szignifikáns hatással a parcellákban fejlődött tányérokából kicsépelte kaszatokban mért olajtartalomra. Az egészséges növényekről származó kaszatok olajtartalma 50,2 % volt. Az adatsor a Levene teszt értéke ($p < 0,05$) és a hisztogramok elemzése szerint megfelel a parametrikus tesztek feltételeinek. A T próba szerint a fertőzés hatására ugyan szignifikáns növekedés volt tapasztalható a fertőzött növényekről származó kaszatok esetében (52,2%), azonban a két egészségügyi állapot között mindösszesen 2% különbség volt kimutatható.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Igazoltuk a kórokozó széleskörű elterjedését a Kárpát-medencében, valamint izoláltunk egy csehországi mintát is. Összesen 66 területet vizsgáltunk, amelyekből 59 terület volt *Macrophomina* sp. kórokozóval fertőzött. Azokon a területeken, ahol nem találtuk meg a vizsgálat során a gombára jellemző kitartóképleteket, további vizsgálatokat javasolunk elvégezni. A negatív eredmény nem jelenti egyértelműen azt, hogy a gomba egyáltalán nincs jelen a területeken, csupán azt jelenti, hogy a vizsgálat ideje alatt a kórokozó vagy nem képzett még mikroszkleróciumokat vagy a vizsgált terület más pontjain voltak fertőzött növények. Az országban elsőként Békési és munkatársai (1970) igazolták a kórokozó jelenlétét. Akkora már az ország számos pontján (Agárd, Baja, Gyoma, Ikrény, Iregszemcse, Röjtökmuzsaj, Tordas, Villány) elterjedt a kórokozó. Magyarországon 51 év elteltével Csöndes (2011) 50 *M. phaseolina* izolátumot gyűjtött, ebből 39 földrajzilag elkülönült. Főleg az ország nyugati, dél-nyugati területeiről. Az irodalmi forrásokat alapul véve és a saját vizsgálataink során megállapított eredményeink alapján elmondható, hogy a kórokozó az országban széleskörben elterjedt. A *M. phaseolina* rendkívül gyors globális terjedésével kapcsolatban kijelenthetjük, hogy a gomba a globális felmelegedés és rendkívüli alkalmazkodóképessége miatt várhatóan egyre inkább tovább fog terjedni északabbi területek felé is. Egyelőre nem figyelték meg jelenlétét és fertőzését Lengyelországban, Norvégiában és Finnországban, de ez valószínűsíthetően csak idő kérdése. Az elmúlt évek átlaghőmérsékletének folyamatos emelkedése és az egyre gyakoribb csapadékhiány egyaránt hozzájárul a kórokozó széles körű elterjedéséhez és az általa okozta károk növekedéséhez. Néhány mikroszkleróciummal szennyezett talaj darab, növényi maradvány vagy mag elegendő egy új területre kerüléshez, és fertőzés kialakulásához. Miután a kórokozót bejuttatták egy adott területre, onnan szinte lehetetlen azt felszámolni, a fertőzött talajt mentesíteni a mikroszkleróciumoktól. A kórokozó elterjedésekor végzett vizsgálataink megállapították, hogy a kórokozó jelen van Ausztria területén, amelyről korábban nem történt közlés. A kórokozónak elsőként tudtuk azonosítani a napraforgót új gazdanövényeként Szlovéniában.

Megállapítottuk, hogy a *Macrophomina phaseolina* által okozott tünetek napraforgón sok esetben elmosódhatnak. A kórokozót júniusban mutattuk ki fertőzött növényekből laktofenolos-gyapotkék festési eljárással. Július végén, a virágzaskor a tünetek az alsóbb levelek turgorának elvesztésével kezdődtek, majd a virágzást követően

váltak szembetűnővé, amit Mukhtar (2010), valamint Su és munkatársai (2001) is megerősítenek. A tünetek megjelenése a táblában foltszerűen jelentkezett. A beporzást követően a tányérok átmérője az egészségesekhez képest megrekedt, a növény vízellátása akadózik a bélszövet gomba általi kolonizációja miatt. Su és munkatársai (2001) hasonló tünetekről számoltak be, és megállapították, hogy a fiziológiás érettség felé közeledő növények tányérátmérői kisebbek a fertőzött növények esetében. A napraforgó szárának alsó egyharmada megbarnult, az epidermisz sok esetben levált. A szár külső felületén több alkalommal jelentek meg mikroszkleróciumok. A bélszövetben 40-50 cm-es magasságig mikroszkleróciumok tömkelege képződött. Megállapítottuk, hogy súlyos fertőzés esetén a bélszövetet vagy teljesen felemésztette a kórokozó vagy vízszintes rétegekké préselődött, amelyet Su és munkatársai (2001) eredményei is alátámasztanak. Mukhtar (2010) szerint a száron a világos barnától egészen a sötétbarnáig terjedő nagy foltok jelentek meg a növényeken, azonban 2022-ben, amely egy rendkívüli aszályos évnek számított zöld szárban találtunk mikroszkleróciumokat. Megállapítottuk, hogy rendkívüli időjárási viszonyok esetén a kívülről teljesen egészségesnek tűnő zöld szárú növények is lehetnek fertőzöttek. A kórokozó által okozott tünetek sokrétűek és nem mindig jelentkeznek egy növényen. A tünetek közé tartozik a levelek turgorának elvesztése, a szár alsó egyharmadában jelentkező epidermisz leválás, a gyökérnyak külső felületén megjelenő mikroszkleróciumok, a szár elbarnulása és elfeketedése, a tányérok átmérőinek csökkenése, valamint a szár alsó egyharmadában megjelenő mikroszkleróciumok. Tehát, a külső tünetek gyakran megtévesztőek lehetnek, akár más kórokokkal is összetéveszthetőek, ezért a legbiztosabb azonosítási módszer a szárok kettévágása és a mikroszkleróciumok vizsgálata.

Megállapítottuk, hogy a kórokozó 2019-ben és 2020-ban az általunk vizsgált területeken (12) jelen volt és kárt okozott. Mindkét vizsgált évben valamennyi vizsgált területen magas fertőzöttségi indexet regisztráltunk. Az egyetlen kiugró érték Buj volt 2020-ban. Az alacsonyabb fertőzöttség a vetésváltásra vezethető vissza. Mivel a területen a felmérés előtt 8 évig nem volt a napraforgó vetésforgóban. Ezért, bár a környezeti viszonyok kedvezőek voltak akár magas vagy közepes mértékű kórokozó fertőzöttséghez is, inokulum hiányában ez nem történt meg. Egyértelműen megállapítható, hogy a vetésforgó alkalmazása kiemelten meghatározó a betegség megjelenésére adott területen. Azokon a vizsgált területeken, ahol a gazdálkodók legalább három évet hagytak két napraforgó vetés között a gomba előfordulása szintén lényegesen kisebb mértékű volt. Azokon a táblákon, ahol kétéves vetésforgót alkalmaztak, és a gomba számára a

környezeti viszonyok (hőségnapok száma, kevés csapadék) kedvezőek voltak, a kórokozó magas előfordulását mutattuk ki. Francl és munkatársai (1988) a vetésforgó hatását vizsgálták a mikroszkleróciumok populációsűrűségére. A kórokozónak, több mint 500 gazdanövénye van, de ezek közül nem mindegyik gazdanövényen képes felszaporodni nagy mértékben a kórokozó. Francl és munkatársai (1988) megállapították, hogy a legmagasabb mikroszklerócium felhalmozódást szója monokultúra esetében alakult ki. Abban az esetben, ha a szóját 3 évente termesztették ugyanazon a területen, alacsonyabb mikroszklerócium-sűrűséget találtak, mint amikor 2 évente termesztették ugyanott. Eredményeik azt is kimutatták, hogy a talaj mikroszklerócium-sűrűsége szignifikánsan csökkent, ha a szóját kukorica, gyapot és cirok növények követik a vetésforgóban. Eredményeik hasonlóak az általunk detektált eredményekhez. Kijelenthető, ha a kórokozó mikroszkleróciumai nagy mennyiségben jelen vannak a talajban, és a környezeti feltételek is kedvezőek, akkor magas fertőzési indexre és termésveszteségre lehet számítani, amit vizsgálataink is alátámasztottak.

A kórokozó által okozott termésveszteségre 2019-ben és 2020-ban végzett felmérésre vonatkozóan a következőket állapíthatjuk meg. A kórokozó jelentős hatással volt a tányérok átmérőjére, valamint az összkaszattömegre és az ezerkaszattömegre. Megállapítható volt, hogy a *M. phaseolina* fertőzés jelentős termésveszteséget okozott. A legkisebb hatást a tányérátmérőre figyeltük meg, amely mindkét vizsgált évben 27,76%-kal, illetve 15,86%-kal csökkent a fertőzés hatására. Az összkaszattömeg veszteség nagyobb volt, 2019-ben (42,36%), mint 2020-ban (25,56%). Hasonlóképpen eredményeinkhez Raut (1981) 30%-os kaszattömeg veszteséget állapított meg Indiában. Az olajtartalom ezzel szemben a termésveszteséggel ellentétes tendenciát mutatott. A fertőzött növények kaszatai szignifikánsan magasabb olajtartalmúak voltak, mint az egészséges termések. Ugyanakkor az olajtartalom relatív növekedése (~2%) nem képes kompenzálni a mennyiségi termésveszteség miatti kiesést. Az összkaszattömeg csökkenés miatti veszteség mindkét évben lényegesen nagyobb volt, mint a relatív olajtartalom növekedés miatti pozitív eredmény, tehát az olajtartalom növekedés nem tudta kompenzálni a termés kiesést.

Az általunk gyűjtött napraforgószárban fejlődött mikroszkleróciumok 60 és 90 μm közöttiek voltak. Hasonlóképpen Bokor (2007) vizsgálatában taglalt méretekhez (65-95 μm). Bradley és Del Rio (2003) szerint az Észak-Dakotában termesztett szójanövények belsejében és felületén kialakult mikroszkleróciumok $76 \pm 28 \mu\text{m}$ -esek voltak. Simay (1987) vizsgált különböző táptalajokat a kórokozó növekedése és mikroszklerócium

képzése szempontjából. Simay (1987) szerint a mikroszkleróciumok képzése PDA és répalevél agar táptalajokon a leggyorsabb, ezért választottuk a PDA táptalajt a kutatás során. Az általunk gyűjtött 59 izolátum PDA táptalajon 25 °C-on sötét körülmények között inkubálva 108-145 µm méretűek voltak. Bokor (2007) szerint Bokor (2007) szerint a PDA táptalajon fejlődött mikroszkleróciumok 88µm ±20µm, míg Bradley és Del Rio (2003) szerint 188 × 139 ± 48 µm-esek voltak. Megállapítható, hogy a mikroszkleróciumok méretei hasonlóak voltak Szlovákiában és Észak-Dakotában.

Az általunk gyűjtött 59 izolátum kompatibilitási vizsgálata során összesen több, mint 5000 kapcsolatot teremtettünk az izolátumok között, azonban különböző kompatibilitási csoportokat nem sikerült létrehozni. A legtöbb izolátum kompatibilis volt egymással, függetlenül azok földrajzi eredetétől. A lendvai (Szlovénia) és mikulovi (Csehország) izolátum valamennyi izolátummal kompatibilis volt, míg az egyik szerbiai izolátum (DENI_Macpha054) több másik izolátummal (8 db) is barrier zónát képzett. A DENI_Macpha054-es izolátum az ország keleti részein vizsgált 6 területről (Csenger, Székkutas, Kocsord, Körösszegapáti, Doboz, Penyige) származó izolátummal és az ország nyugati részén vizsgált két területről (Bábolna, Rőjtökmuzsaly) származó izolátummal képzett barrier zónát. A másik két szerbiai izolátum egy-egy esetben képzett barrier zónát más izolátummal (Vizesfás; Körösszegapáti). A romániai izolátum (DENI_Macpha057) két másik izolátummal képzett barrier zónát. Megállapítottuk, hogy a földrajzi elterjedtség nem függ össze a kórokozó micéliális kompatibilitásával. Csöndes (2009; 2011) arra következtetett, hogy a mikroszkleróciumok nagy távolságokra is eljuthatnak, míg az egymáshoz közeli izolátumok inkompatibilitása esetében egy területen több genotípus fordulhat elő. A vizsgálatunk során a két egymáshoz legközelebb lévő anasztomózist nem képző izolátum között ~ 50 km van légvonalban, míg az egymáshoz legközelebb lévő anasztomózist képző két izolátum között mindösszesen 5 km van. Érdekes egy szűkebb értelemben vett területről (1 km sugarú kör) származó több, de azonos gazdanövényből származó izolátumot vizsgálni. Peirera és munkatársai (2018) kutatása kitért az egy területen lévő törzsek kompatibilitási erélyére. Szerintük több egymással nem kompatibilis törzs is lehet akár egy területen belül, mivel a kórokozó eloszlási képessége korlátozott. Hasonlóképpen az általunk következtetett tényhez, Pereira és munkatársai (2018) is megállapították, hogy fennáll a lehetőség a nagy távolságra történő elterjedésnek. Megállapították, hogy a földrajzilag egymástól távoli helyeken is lehetnek egymással kompatibilis törzsek. A következtetésük hasonló az általunk kapott eredményekhez, miszerint a szerbiai izolátumok és az ország déli részéről

származó izolátumok közül valamennyi anasztomózist képzett a csehországi izolátummal. A kórokozó az országokon átívelő terjedési formáit szükséges tovább kutatni, mivel ez a terjedési forma adhat magyarázatot arra, hogy a *M. phaseolina* genetikai variabilitása nagymértékű, amit számos kutató bebizonyított. (Su és munkatársai, 2001; Almeida és munkatársai, 2003; Gupta és munkatársai, 2012). A genetikai áramlás a különböző szubpopulációk között korlátozott. E nagymértékű kompatibilitási erély miatt a már így is nehéz védekezési lehetőségek folyamatosan szűkülnek.

A *Macrophomina* genus bővülése miatt a morfológiai vizsgálatok nem elegendőek a fajsztípus azonosításhoz, ezért elvégeztük a gyűjtött izolátumok filogenetikai vizsgálatát két különböző primerpárral (ITS1/ITS4, EF728/EF2). Az ITS1 primerre szekvenált izolátumok esetében nem lehetett fajsztípuson elkülöníthető csoportokat létrehozni, holott Kouadri és munkatársai (2021) azonosították a *M. pseudophaseolina* fajt Algériában, csupán ITS alapon. Az általunk gyűjtött izolátumok ITS alapon történő elkülönítésekor nem kaptunk egyértelmű eredményeket, ezért az izolátumokat EF-728/EF2 primerre is vizsgáltuk. A transzlációs elongációs faktorra szekvenált izolátumok a törzsfában már jól elkülöníthető clade-okat hoztak létre. Megállapítottuk, hogy a Kárpát-medencében gyűjtött valamennyi izolátum *Macrophomina phaseolina* faj. Machado és munkatársai (2019) is megállapították, hogy a *Macrophomina* genusba tartozó fajokat egymástól nem lehet ITS alapon elkülöníteni, azonban az ITS és TEF1- α primerpárokkal már lehetséges az elkülönítés. Brazíliában filogenetikai módszerrel azonosították a *M. euphorbiicola* fajt ITS1/ITS4 és EF-718/EF2 primerpárokkal. A törzsfához a két primerre kapott szekvenciákat összefűzték. Az általunk gyűjtött *Macrophomina* genusba tartozó faj külön clade-t alkotott, ezáltal egyértelműen a *M. euphorbiicola* fajt azonosították. Sanabria-Velazquez és munkatársai (2022) sikeresen azonosították a *M. euphorbiicola* fajt Paraguayban ITS1/ITS4 és EF-728/EF2 primerpárokkal. A törzsfa készítést multilókusz alapján végezték, amely 95%-os pontossággal hozta létre a *M. euphorbiicola* clade-t.

A *M. phaseolina* gombát számos *Trichoderma* faj parazitálhatja. *In vitro* eredményeink szerint a vizsgálat utolsó napján az általunk tesztelt 8 *Trichoderma* faj közül, csupán a *T. orientale* mutatott gyengébb biokontroll hatást a kórokozóra. Az általunk tesztelt többi *Trichoderma* faj esetében 100%-os biokontroll indexet mértünk. A *Trichoderma* fajok ránöttek a kórokozó telepeire és sporuláltak rajta. Eredményeinket megerősíti Eliassaint és munkatársai (2021), Sreedevi és munkatársai (2011), Khalili és

munkatársai (2016), valamint Pastrana és munkatársai (2016) vizsgálatai. Eliassaint és munkatársai (2021), szerint a *T. afroharzianum* eredményesen gátolta sok más talajból fertőző gomba növekedését köztük a *M. phaseolina* micéliális növekedését is *in vitro* körülmények között. Sreedevi és munkatársai (2011) szerint a *T. harzianum* eredményesen fogta vissza a *M. phaseolina* által okozott károsítás mértékét földimogyoróban. Khalili és munkatársai (2016) hasonló eredményekről számoltak be a *T. harzianum* és a *M. phaseolina* interakciós vizsgálataik során. A *T. asperellum* T18-as törzséből készített kereskedelmi készítmény szamócában kijuttatva hatékonyan csökkentette a talajból fertőző *M. phaseolina* károsítását (Pastrana és munkatársai, 2016). A biológiai készítmények tesztelését a jövőben szántóföldi körülmények között is tesztelni szükséges. A *T. simmonsii* hatékonyságáról szóló szakirodalmi forrást nem találtunk, ellenben *in vitro* körülmények között kiváló biokontroll hatékonysággal bír a kórokozóval szemben.

A kórokozó micéliális növekedésére az általunk tesztelt növényvédő szer hatóanyagok többsége 25%-os dózisban totális gátlással volt. A DMI csoportba tartozó hatóanyagokkal mérgezett táptalajon nem növekedett micélium telep. A harmadik napon az azoxistrobinnal és a boszkaliddal kezelt táptalajok mellett a fluopirammal és a piraklostrobinnal kezelt táptalajon is mérhető volt micélium telep. Az azoxistrobin és a piraklostrobin a QoI gátló csoportba tartozik, míg a boszkalid és a fluopiram az SDHI gátló csoportba tartozik. A benzovindiflupír szintén az utóbbi csoportba tartozik ám az ezzel a hatóanyaggal kezelt táptalajon nem növekedett micélium. Az engedélyokiratban szereplő maximális dózis esetében az azoxistrobin, boszkalid és a fluopiram hatóanyag nem gátolta a kórokozó micéliális növekedését. A *M. phaseolina* hifáinak életképessége számára kedvezőtlen körülmények között igen alacsony, ezzel szemben a mikroszkleróciumok életképessége akár több év is lehet. A védekezés fő célja megakadályozni a kitartóképletek keletkezését, ezáltal mentesíteni a talaj a mikroszkleróciumok felhalmozódásától. A vizsgálatot az 5. napon értékeltük. Ekkorra a legkisebb dózisban azoxistrobinnal és boszkaliddal kezelt táptalajokon képződött mikroszklerócium telep. Ezzel szemben a maximális dózissal történt kezelésnél, a kórokozó már csak az azoxistrobinnal mérgezett táptalajokon volt képes mikroszklerócium telep képzésére. A hatóanyagok hatásmechanizmusuk alapján nem voltak egyértelműen csoportosíthatóak, mert az azoxistrobin és a piraklostrobin QoI gátlók, azonban a piraklostrobin az azoxistrobinnal szemben maximális dózisban totálisan gátolta mind a micéliális növekedést, mind a mikroszklerócium képzést.

Jelen kutatás eredményei egyöntetűen rámutatnak a DMI gátlók (prokloráz, protiokonazol, tebukonazol) hatékonysága a kórokozóval szemben. Lokesh és munkatársai (2020) különböző szisztemikus fungicideket teszteltek *in vitro* körülmények között a gombára nézve. Vizsgálták a tebukonazol és az azoxistrobin, valamint számos más hatóanyag hatékonyságát. Megállapították, hogy a dózis növekedésével a micéliális növekedésre gyakorolt gátló hatás fokozódik. Az általuk használt dózis számítások különbözősége miatt arra a következtetésre jutottak, hogy az azoxistrobin 500 ppm-es koncentrációban 38%-ban gátolta a kórokozó növekedését, míg a tebukonazol 49%-ban.

A gomba elsődleges fertőzési forrásai a talajban elfekvő mikroszkleróciumok, amelyek csírázó hifákon keresztül képesek megfertőzni a gazdanövények gyökereit, már csíranövénykorban. E talajból fertőző kórokozó ellen nehéz a kémiai védekezés, mert nincs a gyökér felé mozgó szisztemikus gombaölő szer hatóanyag (Marquez és munkatársai, 2021). A növények elsődleges védelmét a csávázás adhatja, ezért teszteltük a prokloráz hatóanyagok *in vitro*, *in vivo* és szántóföldi körülmények között is. A csávázott kaszatok *M. phaseolina* tisztatenyészetten történt inkubálása során a négy tesztelt dózis közül a $0,6 \text{ l t}^{-1}$ és a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ koncentrációk bizonyultak hatásosnak a kórokozóval szemben. A proklorázzal $0,15 \text{ l t}^{-1}$ és $0,075 \text{ l t}^{-1}$ dózissal történt kezeléskor a kaszatokon tapasztalható volt némi micélium telep, azonban mikroszkleróciumok nem képződtek.

A tenyészedényes vizsgálatok során megállapítottuk, hogy az első penetráció a kontroll nem csávázott növények esetében a harmadik héten történt, míg a csávázott kaszatok esetében a hatóanyag megvédte a növényeket a penetrációtól a hatodik hétig. A $0,6 \text{ l t}^{-1}$ és a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózisok között szignifikáns eltérés nem volt tapasztalható a hatodik héten mért gyökérhosszokra vetítve, azonban a növénymagasság tekintetében az utóbbi dózissal kezelt növények magasabbak voltak. Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy a $0,6 \text{ l t}^{-1}$ dózissal kezelt növények esetében fitotoxikus tünetek jelentek meg a növényeken, emiatt a későbbiekben a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózist vizsgáltuk tovább.

A szántóföldi kísérlet eredményei szerint a csávázás csökkentette a betegség jelenlétét a csávázott kaszatok esetében (6,52% - 8,26%), míg a nem csávázott kaszatok esetében a betegség megjelenése 45-53% között volt. Az állománykezelés nem volt szignifikáns hatással a fertőzöttség mértékére. Vizsgáltuk a tányérok átmérőit is a kezelések függvényében. Kimutattuk, hogy az egyszeri állománykezelés már pozitív szignifikáns hatással bírt a tányérátmérő méretekre. Az eredményeink alapján levonható az a következtetés, hogy a csávázás hatékonyan megvédte a növényeket a kórokozó

fertőzésétől. A legnagyobb tányérátmérő méreteket a csávázott + állománykezelt parcellákban mértük. Vizsgáltuk a fertőzés hatását is a tányérátmérőkre a kezelésektől függetlenül. A fertőzés nagymértékben befolyásolta a tányérok méretét. A kórokozó hatására a fertőzött növények tányérátmérői 5 cm-el voltak kisebbek az egészséges növényekhez képest. A legnagyobb összkaszattömegeket a csávázott és a csávázott + állománykezelt parcellákban mértük (120-125 g). A csávázás hiánya átlagosan ~25 gramm összkaszattömeg veszteséget okozott. Megállapítottuk, hogy a csávázás szignifikáns hatással bírt az összkaszattömeg eredményekre. A legnagyobb ezerkaszattömeg értékeket (83 g) a csávázott + állománykezelt parcellákból származó növények esetében mértük. Az olajtartalom tekintetében a hatóanyag nem volt szignifikáns hatással az eredményekre, azonban a fertőzött (kezelésektől független) növények esetében 2%-kal magasabb volt az olajtartalom az egészséges (kezelésektől független) növényekhez képest.

A napraforgó mag csávázással kapcsolatos eredményeinket más szakirodalmi forrásokkal (azok hiányában) összevetni érdemben nem tudtuk. Ugyanakkor más növényeken végzett hasonló vizsgálatok eredményei igazolni látszanak a napraforgó esetében meghatározott céljainkat. Mengistu és munkatársai (2015) szerint nincs elérhető kémiai védekezés a hamuszürke hervadás ellen szójában, azonban megemlítették, hogy a csávázás hatékony lehet a kórokozóval szemben. Reznikov és munkatársai (2016) szerint a kémiai úton (piraklostrobin, tiofanát-metil) csávázott szója növények kevésbé fertőződtek meg a *M. phaseolina* kórokozóval szemben, mint a biológiai úton (*Bacillus subtilis*, *T. viride*) csávázott növények. Korábban számos hatóanyagot teszteltek gyapot csávázásra a *M. phaseolina* ellen. A karbendazimmal, a kvintozollal és a benomillal csávázott növények kevésbé voltak fogékonyak a kórokozóval szemben csíranövénykorban (Chauhan 1986a, 1986b, 1988; Dwivedi és Ghaube, 1985).

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottuk, hogy a *Macrophomina phaseolina* Magyarországon széles körben elterjedt kórokozó. Kimutattuk a kórokozót Ausztria területéről, valamint Szlovéniából napraforgón, ami ott új gazdanövény.
2. Megállapítottuk, hogy a vetésforgó hiánya miatt felszaporodott inokulum mennyiség nagyobb befolyással bír a fertőzöttség mértékére, mint a környezeti hatások. A hároméves vetésváltás esetében lényegesen kevesebb volt a fertőzött növények mennyisége a vizsgált táblákban, mint a kétéves vetésváltás esetében. A felmérések során megállapítottuk ugyanakkor, hogy az olajtartalom a fertőzött növények esetében átlagban 2%-kal magasabb volt, de ez az emelkedés nem ellensúlyozza az akár 42%-os összkaszattömeg veszteséget tényéronként.
3. Megállapítottuk, hogy a hazai izolátumok hasonló méretű mikroszkleróciumokat képeznek a gazdanövényben, illetve PDA táptalajon is, mint a Szlovákiából származó izolátumok és a szakirodalmak által leírt Észak-Dakotában vizsgált izolátumok.
4. A patogén ivartalan paraszexuális szaporodásához szükséges anasztomózis képzésének vizsgálatakor megállapítottuk, hogy nem lehet kompatibilitási csoportokat létrehozni az általunk gyűjtött kárpát-medencei izolátumok esetében. Az izolátumok egymás között nagymértékű kompatibilitási erélyt (97,2%) mutattak. A szerbiai DENI-MacPha054-es izolátum 8 esetben nem képzett anasztomózist a többi vizsgált izolátummal, míg a szintén szerbiai DENI_MacPha56-os izolátum valamennyi izolátummal képzett anasztomózist. A földrajzi elkülönülés nem adhat megbízható következtetést az izolátumok kompatibilitásáról.
5. Megállapítottuk, hogy a kórokozó fajszintű azonosításához nem elegendő az ITS1-ITS4 primerpár. A pontos fajszintű azonosításhoz a $tef\alpha$ primerek közül az EF728-EF2 primerpár használata szükséges.
6. Megállapítottuk, hogy Magyarországon a jelenleg ismert 4 *Macrophomina* fajból kizárólag a *Macrophomina phaseolina* van jelen.
7. Biológiai védekezési célú kísérletünkben megállapítottuk, hogy a *T. simmonsii* kiváló BCI hatással bír a kórokozóval szemben. A *T. orientale* potenciális humánpatogén, viszont a BCI hatása eredményeink szerint a vizsgált fajok közül a leggyengébb volt, ezért további kutatását nem javasoljuk. A többi általunk tesztelt

Trichoderma faj eredményeink alapján kiváló hatékonysággal parazitálja a *M. phaseolina* kórokozót *in vitro* körülmények között.

8. Megállapítottuk, hogy a patogénnel szemben eredményesen a DMI gátló csoportjába tartozó hatóanyagok (prokloráz, protiokonazol, tebukonazol) alkalmazhatók. A hatóanyagok hatásmechanizmusaik alapján nem voltak egyértelműen csoportosíthatóak, mert QoI gátlók csoportjába tartozó azoxistrobin maximális dózisban sem gátolta mikroszkleróciumok képződését, míg a szintén ebbe a csoportba tartozó piraklostrobin a legkisebb dózisban is hatékonynak bizonyult.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. Szántóföldön csak a napraforgó szára alsó egyharmadának felvágását követően igazolható egyértelműen a gomba jelenléte a gazdanövényben, mert a patogén által a növényen okozott külső tünetek gyakran nem egyértelműek. A kívülről egészségesnek tűnő növények is lehetnek belülről fertőzöttek. Vizsgálataink megerősítették, hogy az általános tünetekhez tartozik a csökkent tányérátmérő, az elbarnult szár, a kókadtt levelek, az epidermisz leválása és a mikroszkleróciumok megjelenése a szár külsején.
2. Megállapítottuk, hogy a napraforgó fő értékmérő tulajdonságait kedvezőtlenül befolyásolja a fertőzés. Az ezerkaszattömeg csökkenése miatt a kombájn tisztítási vesztese és szórása is megnő, ezáltal jelentős árvakelés alakulhat ki.
3. A *Macrophomina phaseolina* fajszerűtű azonosításához szükséges az EF-728/EF2 primerpár használata az ITS primerpárok mellett.
4. A *Trichoderma* fajokat tartalmazó készítmények *in vitro* körülmények között eredményesek a patogénnel szemben.
5. Az *in vitro* körülmények között tesztelt hatóanyagok közül kiemelkednek a DMI gátlók. A hatóanyagok engedélyokiratának folyamatos visszavonása miatt a prokloráz általunk megállapított hatékonyságát az Európai Unión belül ugyan már nem tudjuk kihasználni, ugyanakkor szélesebb nemzetközi viszonylatban egyértelműen lehet létjogosultsága.
6. Megállapítottuk, hogy a prokloráz hatóanyaggal történő csávázás eredményes lehet a kórokozóval szemben *in vitro*, tenyészedényes és szántóföldi körülmények között is. *In vitro* körülmények között a 0,3 l t⁻¹ és a 0,6 l t⁻¹ dózisok voltak eredményes hatásúak a kórokozó kolonizációjára, ugyanakkor a tenyészedényes vizsgálatok eredményei szerint a magasabb dózissnak fitotoxikus hatása van. A proklorázzal történő csávázás szignifikáns hatékonysággal bírt a fertőzöttségi indexre és a napraforgó többi értékmérő tulajdonságára. A csávázás és az állománykezelés között a fertőzöttségi mértékre vetítve nem volt szignifikáns eltérés, ezért megállapítható, hogy a csávázás elegendő a fertőzés kialakulásának meggátlására. Az állománykezelés a napraforgó tányérátmérő, összkaszattömeg és ezerkaszattömeg értékmérő tulajdonságai esetében eredményezett pozitív hatást. A gyakorlatban ezért mind csávázás, mind az állománykezelés fontos védekezési feladat.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A *Macrophomina phaseolina* rendkívül polifág, több száz gazdanövénnyel rendelkező, genetikailag variábilis, hatalmas gazdasági károkat okozó kórokozó. Minden növénytermesztő kontinensen megtalálható. Taxonómiai státuszát az elmúlt 100 év során többször is felülvizsgálták. A legitim elfogadott neve *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. E. A biológiája és ellene a védekezési lehetőségek ismerete korlátozott és rendkívül területfüggő. Ezért a célkitűzések alapjául a gomba biológiájának megértését és az ellene való védekezési lehetőségek tesztelését választottuk.

Az első célkitűzésem volt igazolni a kórokozó elterjedtségét Magyarországon és a környező országokban. A Kárpát-medencében összesen 66 területet vizsgáltunk, ebből 58 terület volt *Macrophomina* sp. gombával fertőzött. A 2022-es évben vizsgált napraforgó táblában megtaláltuk a kórokozó mikroszkleróciumait, így elsőként mi igazoltuk a kórokozót Szlovéniában napraforgón. 2021-ben Ausztriában vizsgáltunk napraforgó területeket. Az országban elsőként igazoltuk a kórokozó jelenlétét.

Az első célkitűzésemmel összhangban vizsgáltuk a betegség tüneteit napraforgón. Az első penetráció június második felében történt. Az első a kórokozó által okozott látható tünetek júliusban jelentkeztek, mikor is az alsóbb levelek elveszítették turgorukat és hirtelen (két hét leforgása alatt) elszáradtak. A jellegzetes tünetek közé tartozott az augusztusban a fertőzött növény szárának alsó egyharmadáról leváló az epidermisz réteg. Augusztus elején és közepén a fertőzött táblában nagy kiterjedésű hervadó növényekből álló foltokat tapasztaltunk. A tünetek gyakran keverhetők más károsítók által okozott tünetekkel, ezért a kórokozó azonosítására a legmegbízhatóbb módszer a mikroszkleróciumok tömeges jelenlétének vizsgálata a száron belül a gyökérnyaktól egészen 40-50 cm magasságig.

A második célkitűzésem a gomba által okozott gazdasági károk felmérése volt. 2019-ben és 2020-ban 6 település mellett 12 terület fertőzöttségét mértük fel. 2019-ben 70-83 %-os fertőzöttség mértéket állapítottunk meg a vizsgált területeken. Ez az érték 2020-ban 9 és 71% között változott. A kórokozó mindkét vizsgált évben valamennyi területen megtalálható volt. Megállapítottuk, hogy a vetésváltásban szereplő gazdanövények nagymértékben befolyásolhatják a vizsgált kórokozó fertőző anyagának mennyiségét a talajban. A vetésforgó szignifikáns hatással volt a fertőzöttségi mértékre a vizsgált területeken. Az eredmények alapján a kevesebb csapadék és a több hőségnap nagyobb fertőzöttséghez vezetett. A *M. phaseolina* fertőzés jelentős termésveszteséget

okozott a vizsgált növények tányérátmérőjének, összkaszattömegének és ezerkaszattömegének csökkenése miatt.

A harmadik célkitűzésem volt vizsgálni a mikroszkleróciumok átlagos. A napraforgószárazokban képződött mikroszkleróciumok átlagos átmérői 60-90 μm közöttiek voltak. A kórokozó PDA táptalajon képzett mikroszkleróciumainak átlagos átmérője méréseink alapján 108-145 μm volt.

A negyedik célkitűzésem szerint vizsgáltuk az általunk gyűjtött izolátumok közötti micéliális kompatibilitást. Az izolátumok kompatibilitási tesztelése során 5133 párosítást végeztünk el. Az összes párosítási lehetőségből (1711) mindösszesen 42 esetben nem tapasztaltunk anasztomózis képződést. Az összes párosítási lehetőség közül 97,55%-ban anasztomózis képződött a két izolátum között. Az eredmények alapján az általunk vizsgált izolátumok ugyanabba a kompatibilitási csoportba tartoznak.

Az ötödik célkitűzésem volt fajsztinon meghatározni az általunk gyűjtött izolátumokat molekuláris biológiai módszerrel, mert a *Macrophomina* genusba tartozó fajokat a morfológiai paramétereik alapján elkülöníteni bonyolult és nehéz folyamat. A törzsfaj értékelése során egyértelműen megállapítható volt, hogy az ITS alapon történő fajmeghatározás nem elegendő. A TEF- α primerekkel végzett szekvenálás eredménye során kapott szekvenciákat a MEGA X program már faj szerint csoportosította. A csoportosítás során a program a *Macrophomina phaseolina* fajokhoz sorolta az általunk izolált mintákat.

A patogén elleni védekezés a gyakorlatban rendkívül nehéz feladat, ezért a hatodik célkitűzésem szerint teszteltünk a kórokozó ellen számos *Trichoderma* fajt *in vitro*. Valamennyi általunk tesztelt *Trichoderma* faj (*T. afroharzianum*, *T. asperellum* T1-es törzse, *T. asperellum* T34-es törzse, *T. harzianum* T22-es törzse, *T. gamsii*, *T. harzianum*, *T. simmonsii*) kiváló (100 %-os) biokontroll hatással volt a patogénre, kivéve *T. orientale* (57%).

A hetedik és egyben utolsó célkitűzésemhez 8 fungicid hatóanyagot teszteltünk *in vitro*. Megállapítottuk, hogy a DMI csoportba tartozó hatóanyagok már a legkisebb dózisok tesztelésekor is totálisan gátolták a kórokozó micéliális növekedését. A legkisebb dózisban a kórokozóra nem volt totális gátlással az azoxistrobin, a boszkalid, a fluopiram és a piraklostrobin. A maximális dózisok tesztelésekor, hasonlóképpen a fél dózisokhoz az utóbbi három fungiciddal kezelt táptalajon növekedett a kórokozó. A legkisebb hatékonysága a mikroszkleróciumok képződésére az azoxistrobin volt, a legnagyobb dózisok esetében is képzett mikroszklerócium telepet a patogén. A legkisebb dózisok

tesztelésekor a boszkaliddal kezelt táptalajon fejlődött mikroszklerócium telep az azoxistrobin mellett. A többi hatóanyag totális gátlással volt mindhárom dózisban a patogén mikroszklerócium képzésére.

A hatóanyagok közül az eredményeink alapján a proklorázt választottuk ki további *in vivo* tesztre és nagyparcellás kísérlethez. A csávázás jótékony hatással volt a csíranövények méretére. Ugyanakkor a kórokozó negatívan befolyásolta a proklorázzal nem kezelt kaszatok csíranövényeit. A prokloráz nem volt fitotoxikus hatással a fejlődött csíranövényekre. A négy tesztelt dózis közül a $0,6 \text{ l t}^{-1}$ és a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózist használtuk tovább, mivel a két kisebb dózis nem mutatott kellő hatékonyságot.

A tenyészedényes vizsgálatban (növénynevelő szobában) vizsgáltuk a proklorázt, mint csávázó szer két kiválasztott dózisban a kórokozó ellen. Megállapítottuk, hogy a töményebb dózis ($0,6 \text{ l t}^{-1}$) fitotoxikus hatással volt a növényekre. Ugyanakkor a $0,3 \text{ l t}^{-1}$ dózis hatékonyan megvédte a növényeket a hatodik hétig a kórokozó penetrációjától.

Ezt követően vizsgáltuk a proklorázt nagyparcellás körülmények között, mint csávázó szer és mint állománykezelő szer. Vizsgáltuk a hatékonyságát a fertőzöttség mértékére, a napraforgó értékmérő paramétereire (tányérátmérő, összkaszattömeg, ezerkaszattömeg, olajszázalék) egyaránt. Megállapítottuk, hogy a csávázás megvédte a növényeket a fertőzéstől. A kontroll parcellák esetében a fertőzöttség mértéke szignifikánsan nagyobb volt (46%, 54%), de a két kezelés között szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk. Megállapítottuk, hogy az állománykezelés nem volt hatással a fertőzöttség mértékére kontroll és csávázott körülmények között sem.

A napraforgó értékmérő tulajdonságai közül a kórokozó a tányérátmérőre gyakorolt hatását vizsgáltuk. Valamennyi kezelés között szignifikáns eltérést tapasztaltunk. Továbbá vizsgáltuk a kezelések hatékonyságát a tányérokából kicsépelte kaszatok össztömegére. A csávázott és csávázott + állománykezelt parcellák esetében $\sim 140\text{g}$ volt a kicsépelte kaszatok tömege tányéronként, amely a legtöbb kicsépelte kaszatot jelentette a vizsgálat során. A következő vizsgált paraméter az ezerkaszattömeg volt. A kezelések szignifikáns hatással voltak az ezerkaszattömeg alakulásra. A legnagyobb értékű ezerkaszattömeget a csávázott és egy alkalommal állománykezelt parcellákban mértük (83 gramm), a legkisebbet a csávázatlan és nem állománykezelt parcellákban (57 g). Az olajtartalomra a kezelések nem voltak szignifikáns hatással. A fertőzés hatására szignifikáns olajtartalom növekedés volt tapasztalható, azonban az érték mindösszesen 2% volt. Ez a csekély mértékű növekedés nem ellensúlyozza a mennyiségi veszteségeket.

9. SUMMARY

Macrophomina phaseolina is a remarkably polyphagous fungus with hundreds of host plants and large genetic variability, causing enormous economic damage. This fungus can be found in every plant producing continent. Its taxonomic status has been revised several times over the last 100 years. The legitimate accepted name is *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. E. Information on its biology and control options is limited and highly area-specific. Therefore, understanding the biology of the fungus and testing control options against it was chosen as the basis for the aims of this dissertation.

The first aim was to confirm the distribution of the pathogen in Hungary and neighbouring countries. A total of 66 areas were studied in the Carpathian Basin, 58 of which were infested with *Macrophomina* sp. In the year 2022, microsclerotia of the pathogen were found in the studied sunflower field, and thus we were the first to confirm the presence of the pathogen in Slovenia. In 2021, sunflower fields in Austria were examined. We were the first to detect the presence of the pathogen in the country.

In line with the first aim, disease symptoms in sunflowers were investigated. The first penetration was recorded in the second half of June. The first visible symptoms caused by the pathogen appeared in July, when the lower leaves lost turgor and withered under a short period of time (within two weeks). Characteristic symptoms included the separation of the epidermal layer from the lower third of the stem of the infected plant in August. In early and mid-August, large patches of wilting plants were observed in the infested field. The symptoms can often be confused with those caused by other pests, so the most reliable method to identify the pathogen is to examine the presence of microsclerotia in large number in the stem from the root collar up to 40-50 cm in height.

The second aim was to assess the economic damage caused by the fungus. In 2019 and 2020, 12 areas were examined close to 6 municipalities. In 2019, a disease incidence of 70-83% was recorded in the studied areas. This value varied between 9% and 71% in 2020. The pathogen was present in all areas in both years studied. It was determined that host plants in the crop rotation have a great influence on the inoculum of the pathogen in the soil. Crop rotation had a significant effect on disease incidence in the studied areas. The results suggest that less rainfall and more hot days led to a higher disease incidence. *M. phaseolina* infection caused significant yield loss due to a reduction in head diameter, seed weight, and thousand seed weight of the examined plants.

The third aim was to examine the size of microsclerotia. The average diameter of microsclerotia found within the sunflower stem was between 60-90 μm . According to our measurements, the average diameter of microsclerotia grown on PDA culture media were between 108-145 μm .

The fourth aim was to investigate the mycelial compatibility between the collected isolates. In the compatibility testing of the isolates, 5133 pairings were performed. Of the total number of possible pairings (1711), no anastomosis was observed in 42 cases. Of the total number of possible pairings, 97.55% showed anastomosis formation between two isolates. The results show that the studied isolates belong to the same compatibility group.

The fifth aim was to identify the collected isolates on a species-level using molecular biology techniques, as species belonging to the genus *Macrophomina* are difficult to distinguish using morphological parameters. During the evaluation of the phylogenetic tree, it was found that the ITS sequence is not sufficient for species-level identification. The sequences obtained from the TEF- α sequencing were grouped by species by the MEGA X program. During the grouping, the program assigned the samples isolated to *Macrophomina phaseolina* species.

Control of the pathogen is a difficult task in practice, so the sixth objective involved testing several *Trichoderma* species against the pathogen *in vitro*. All the tested *Trichoderma* species (*T. afroharzianum*, *T. asperellum* T1 strain, *T. asperellum* T34 strain, *T. harzianum* T22 strain, *T. gamsii*, *T. harzianum*, *T. simmonsii*) exhibited excellent (100%) biocontrol activity against the pathogen with the exception of *T. orientale* (57%).

For the seventh and final objective, 8 fungicide active substances were tested *in vitro*. It was found that the DMI group of active substances completely inhibited mycelial growth of the pathogen even at the lowest doses. At the lowest doses, azoxystrobin, boscalid, fluopyram and pyraclostrobin did not completely inhibit the growth of the pathogen. When tested at the maximum doses, similarly to the half doses, the pathogen grew on the medium treated with the latter three fungicides. Azoxystrobin had the lowest efficacy on microsclerotium formation, the pathogen formed microsclerotium colonies even at the highest doses. In addition to azoxystrobin, when tested at the lowest doses, microsclerotium colonies developed on the medium treated with boscalid. The other active substances exhibited total inhibition of microsclerotia formation of the pathogen at all three doses.

Based on the previous results, prochloraz was selected for further *in vivo* and large parcel testing. Seed treatment had a positive effect on seedling size. However, the pathogen had a negative effect on seedlings grown from seeds not treated with prochloraz. Prochloraz was not phytotoxic to the seedlings in the test. Of the four doses tested, the 0.6 l t^{-1} and 0.3 l t^{-1} doses were further examined, as the two lower doses did not show sufficient efficacy.

In the pot experiment (nursery), prochloraz was tested as a seed treatment at the two selected doses against the pathogen. It was found that the more concentrated dose (0.6 l t^{-1}) had a phytotoxic effect on the plants. However, the 0.3 l t^{-1} dose was effective in protecting plants from pathogen penetration until the sixth week.

Subsequently, prochloraz was tested under large parcel conditions as a seed treatment agent and as crop treatment. It was found that seed treatment protected the plants from infection. Infection rates were significantly higher in control parcels (46%, 54%), but no significant difference was observed between the two treatments. It was found that crop treatment had no effect on infection rates in either control or seed treated conditions.

Among the value indicator traits of sunflower, the head diameter was investigated in relation to infection. A significant difference was observed between all treatments. Furthermore, the effectiveness of the treatments on the total weight of the seeds threshed from the plates was investigated. In parcels where only seed treatment and seed treatment + crop treatment was applied, the recorded seed weight was ~140g per head (it was the highest). Afterwards, the thousand seed weight was also examined. Treatments had a significant effect on thousand seed weight. The highest value was recorded in the case of parcels where seed treatment and one crop treatment were applied (83 g), whereas parcels that received no seed treatment nor crop treatment showed the lowest value (57 g). The oil content was not significantly affected by the treatments. There was a significant increase in oil content as a result of infection, but this value was only 2%. This small increase does not compensate for the quantitative losses.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- Abbas, H. K. – Bellaloui, N. – Accinelli, C. – Smith, J. R. – Shier, W. T.: 2019. Toxin production in soybean (*Glycine max* L.) plants with charcoal rot disease and by *Macrophomina phaseolina*, the fungus that causes the disease. *Toxins* 11:645.
- Acimovič M.: 1962. *Sclerotium bataticola* Taub. kao uzročnik uvelosti suncokreta u Vojvodiny. *Zaštita bilja*, 69–70.
- Acimović M.: 1998. Charcoal root and stem rot. In: Sunflower diseases. Scientific Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia (In Serbian).
- Ahmed, N. – Ahmed, Q. A.: 1969. Physiologic specialization in *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) Ashby, causing stem rot of jute, *Corchorus* species. *Mycopathologia* 39:129–138.
- Akhtar, K. P. – Sarwar, G. – Arshad, H. M. I.: 2011. Temperature response, pathogenicity, seed infection and mutant evaluation against *Macrophomina phaseolina* causing charcoal rot disease of sesame. *Archives Of Phytopathology and Plant Protection*, 44 (4), 320–330. doi:10.1080/03235400903052945
- Alabouvetto, C. – Bremeersch, P.: 1976. *Macrophomina phaseolina* parasite due to tournesol. et el. actual de nos. connaissances et orientation des. recherches, *Centre Tech. Interprob, Oleagineux, Melrop. Inform. Tech.* 52:13.
- Alexandrov V.: 1999. Incidence of charcoal rot of sunflower caused by *Sclerotium bataticola* Taub. in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 5 (6), 867-870.
- Almeida, A. M. R. – Abdelnoor, R. V. – Arias, C. A. A. – Carvalho, V. P. – Martin, S. R. R. – Benato, L. C. – Pinto, M. C. – Carvalho, C. G. P.: 2003. Genotypic diversity among Brazilian isolates of *Macrophomina phaseolina* revealed by RAPD. *Fitopatologia Brasileira* 28, 279–285.
- Anis, M. – Abbasi, W. M. – Zaki, M. J.: 2010. Bioefficacy of microbial antagonists against *Macrophomina phaseolina* on sunflower. *Pakistan Journal of Botany* 42 (4) 2935–2940
- Arias R. S. – Ray J. D. – Mengistu A. – Scheffler B. E.: 2011. Discriminating microsatellites from *Macrophomina phaseolina* and their potential association to biological functions. *Plant Pathology* 60, 709–718.
- Ashby S. F.: 1927. *Macrophomina Phaseoli* (Maubl.) comb. nov. The pycnidial stage of *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butl. *Transactions of the British Mycological Society*, 12(2-3), 141–147. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(27\)80008-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(27)80008-2)

- Babu, B. K. – Reddy, S. S. – Yadav, M. K. – Sukumar, M. – Mishra, V. – Saxena, A. K. – Aora, D. K.: 2010. Genetic diversity of *Macrophomina phaseolina* isolates from certain agro-climatic regions of India by using RAPD markers. *Indian Journal of Microbiol.* 50 199–204. 10.1007/s12088-010-0033-x
- Babu, B. K. – Saxena, A. K. – Srivastava, A. K. – Arora, D. K.: 2007. Identification and detection of *Macrophomina phaseolina* by using species-specific oligonucleotide primers and probe. *Mycologia* 99:797–803
- Bai, Z. – Jin, B. – Li, Y. – Chen, J. – Li, Z.: 2008. Utilization of winery wastes for *Trichoderma viride* biocontrol agent production by solid state fermentation. *Journal of Environmental Sciences* 20: 353–358.
- Bailey, B. A. – Bae, H. – Strem, M. D. – Crozier, J. – Thomas, S. E. – Samuels, G. J.: 2008. Antibiosis, mycoparasitism, and colonization success for endophytic *Trichoderma* isolates with biological control potential in *Theobroma cacao*. *Biological Control* 46. (1) 24–35.
- Baird, R. E. – Wadl, P. A. – Allen, T. – McNeill, D. – Wang, X. – Moulton, J. K. – Rinehart, T. A. – Abbas, H. K. – Shier, T. – Trigiano, R. N.: 2010. Variability of United States isolates of *Macrophomina phaseolina* based on simple sequence repeats and cross genus transferability to related genera within *Botryosphaeriaceae*. *Mycopathologia* 170, 169–80.
- Baird, R. E. – Wadl, P. A. – Wang, X. – Johnson, D. H. – Rinehart, T. A. – Abba, H. K. – Shier T. – Trigiano, R. N.: 2009. Microsatellites from the charcoal rot fungus *Macrophomina phaseolina*. *Molecular Ecology Resources* 9, 946–948.
- Bakhshi, M. – Arzanlou, A. – Babai-Ahari, A.: 2011. Uneven distribution of mating type alleles in Iranian populations of *Cercospora beticola*, the causal agent of Cercospora leaf spot disease of sugar beet. *Phytopathologia Mediterranea* 50, 101–109.
- Békési, P. – Szani Sz. – Zalka, A.: 1995. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. hazai előfordulása dinnyén. Integrált termesztés a kertészetben 16. Budapest, 107.
- Békési, P. – Vörös J. – Calvert, O. H.: 1970. *Macrophomina phaseolina* in Hungary damaging sunflower. *Plant Disease Reporter* 54. (4) 286–287.
- Benitez, T. – Rincon, A. M. – Limon, M. C. – Condon, A. C.: 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology* 7 (4) 249–260.
- Birrenkott, G. L. – Mengistu, A. – Grau, C. R.: 1984. First report of charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* on soybeans in Wisconsin. *Plant Disease* 68: 628.

- Boewe G. H.: 1963. Host plants of charcoal rot disease in Illinois. *Plant Disease Reporter* 47: 753-755.
- Bokor P.: 2007. *Macrophomina phaseolina* causing a charcoal rot of sunflower through Slovakia. *Biologia* 62 (2). 136-138.
- Bontea V.: 1985. *Ciuperci paraziteși saprofite din România. Volumul I*. Editura Academiei Republicii Socialiste România Bucharest, Romania
- Bradley, C. A. – Río, L. E. D.: 2003. First report of charcoal rot on soybean caused by *Macrophomina phaseolina* in North Dakota. *Plant Disease* 87: 601–601.
- Briton-Jones H. R.: 1925. Ministry Agriculture Egypt, *Botanical Society* 49 62-67.
- Burrell R.: 1991. Microbiological agents as health risks in indoor air. *Environmental Health Perspectives* 95:29–34
- Carlile M. J.: 1987. Genetic exchange and gene flow: Their promotion and prevention. In A. D. M. Rayner, C. M. Brasier, – D. Moore (Eds.), *Evolutionary biology of the Fungi* (pp. 203–214. Cambridge University Press.
- Chakravarthi, B. K. – Naravaneni, R.: 2006. SSR Marker Based DNA Fingerprinting and Diversity Study in Rice (*Oryza sativa*. L.). *African Journal of Biotechnology*, 5: 684-688.
- Chattopadhyay, C. – Kalpana Sastry, R.: 2002. Combining viable disease controls tools for management of sesame stem *Macrophomina* Goid. Indian rot caused phaseolina by (Tassi) *Journal Protection*, 30 (2) 132-138.
- Chauhan M. S.: 1986a. Comparative efficacy of fungicides for the control of seedling diseases of cotton due to *Rhizoctonia* spp. *Indian Mycology Plant Pathology* 16:335–337
- Chauhan M. S.: 1986b. Systemic and non-systemic fungicides against root rot of cotton in Haryana. *Indian Mycology Plant Pathology* 16:226–227
- Chauhan M. S.: 1988. Relative efficiency of different methods for the control of seedling disease of cotton by *Rhizoctonia bataticola*. *Indian Mycology Plant Pathology* 18:25–30
- Chaverri, P. – Branco-Rocha, F. – Jaklitsch, W. – Gazis, R. – Degenkolb, T. – Samuels G. J.: 2015. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the re-identification of commercial biocontrol strains. *Mycologia*. 107. 3. 558–590. <https://doi.org/10.3852/14-147>
- Chaverri, P. – Samuels, G. J.: 2003. *Hypocrea/Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae. species with green ascospores. *Studies in Mycology* 48. 1–116.

- Chowdappa, P. – Kumar, S. P. M. – Lakshmi, M. J. – Upreti, K. K.: 2013. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biological Control* 65:109–117, doi:10.1016/j.biocontrol.2012.11.009
- Claudino, M. R. – Soares, D. J.: 2014. Pathogenicity and aggressiveness of *Macrophomina phaseolina* isolates to castor (*Ricinus communis*). *Tropical Plant Pathology* 39, 453–6.
- Cohen, R. – Shreiber, S. – Graph, S.: 2002. Vine decline and yield reduction in watermelon: The causal agents and evaluating chemical control efficacy. *Phytoparasitica* 30:16-17.
- Coleman A.: 2013. Maize harvest affected by charcoal rot outbreaks. Farmer's Weekly. 18 July 2013. Visited on 1 August 2022. <https://www.farmersweekly.co.za/agrinews/south-africa/maize-harvest-affected-by-charcoal-rot-outbreaks/>
- Consolo, V. F. – Monaco, C. I. – Cordo, C. A. – Salerno, G. L.: 2012. Characterization of novel *Trichoderma* spp. isolates as a search for effective biocontrollers of fungal diseases of economically important crops in Argentina. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28. 1389–1398. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0938-5>
- Crous, P. W. – Slippers, B. – Wingfield, M. J. – Walter, J. R. – Marasas, F. O. – Philips, A. J. L. – Alves, A. – Burgess, T. – Barber, P. – Groenewald, J. Z.: 2006. Phylogenetic lineages in the *Botryosphaeriaceae*. *Studies in Mycology*, 55 (1), 235–253. <https://doi.org/10.3114/sim.55.1.235>
- Cruz D. R. J.: 2011. *Influence of Soils, Nutrition, and Water Relations upon Charcoal Rot Disease Processes in Kansas*. MSc. Thesis, Kansas State University, Kansas, USA.
- Cummings, J. A. – Bergstrom, G. C.: 2013. First report of charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* in soybean in New York. *Plant Disease* 97: 1506–1506.
- Csöndes I.: 2009. *A Macrophomina phaseolina károsítását befolyásoló tényezők vizsgálata eltérő gazda-parazita kapcsolatokban Keszthely, Hungary: Pannon University*. 120 p
- Csöndes I.: 2011. Mycelial compatibility of Hungarian *Macrophomina phaseolina* isolates *Acta Agronomica Hungarica* 59 (4) 371-377.
- Da Costa T. E. – Negreiros A. M. P. – Souza M. D. F. – Júnior R. S. – Holanda I.: 2020. Genetic similarity of *Macrophomina pseudophaseolina* isolates associated with weeds in the Brazilian semiarid region. *Revista Caatinga* 33 (4) 908-917. doi:10.1590/1983-21252020v33n405rc
- Dave, K. – Gothwal, R. – Singh, M. – Joshi, N.: 2021. Facets of rhizospheric microflora in biocontrol of phytopathogen *Macrophomina phaseolina* in oil crop soybean. *Archives of microbiology*, 203(2), 405–412. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-02046-z>

- De Barros, L. M.: 1985. Disease Complex (*Fusarium oxysporum* and *Macrophomina phaseolina*) responsible for sunflower wilt in Portugal. p. 445-448. In: Proc. 11th International Sunflower Conference, Mar del Plata, Argentina. International Sunflower Association, Paris, France.
- Degenkolb, T. – Dohren, H. – Nielsen, K. F. – Samuels, G. J. – Brückner, H.: 2008. Recent advanced and future prospects in peptaibiotics, hydrophobin, and mycotoxin research, and their importance for taxonomy of *Trichoderma* and *Hypocrea*. *Chemistry Biodiversity* 5 (5) 671–680. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200890064>
- Dell'Olmo, E. – Tripodi, P. – Zaccardelli, M. – Sigillo, L.: 2022. Occurrence of *Macrophomina phaseolina* on Chickpea in Italy: Pathogen Identification and Characterization. *Pathogens*. 10.3390/pathogens11080842.
- Dhingra, O. D. – Sinclair, J. B.: 1978. Biology and Pathology of *Macrophomina phaseolina*. Vicosa, MG. Brasil: Universidade Federal de Vicosa Press
- Dhingra, O. D. – Sinclair, J. B.: 1974. Effect of soil moisture and carbon: Nitrogen ratio on survival of *Macrophomina phaseolina* in soybean stems in soil. *Plant Disease Reporter*, 58, 1034–1037.
- Druzhinina, I. S. – Kopchinskiy, A. G. – Kubicek, C. P.: 2006. The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. *Mycoscience*, 47 (2), 55-64.
- Druzhinina, I. S. – Kubicek, C. P. – Komoń-Zelazowska, M. – Mulaw, T. B. – Bissett, J.: 2010. The *Trichoderma harzianum* demon: complex speciation history resulting in coexistence of hypothetical biological species, recent agamospecies and numerous relict lineages. *BMC Journal of Evolutionary Biology*, 10 (1), 1.
- Dwivedi, T. S. – Ghaube, H. S.: 1985. Effect of fungicides on the emergence and infection of cotton seedlings by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Indian Mycology Plant Pathology* 15:295–296
- Ebenazar, E. G. – Wesely, E. G.: 2000. Effect of fungicides on *Macrophomina phaseolina* causing root rot in greengram. *Pestology*, 24 (3)12-14.
- El Araby, M. E. – Kurle, J. E. – Stetina, S. R. 2003. First report of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) on soybean in Minnesota. *Plant Disease* 87: 202–202.
- Elad, Y. – Zvieli, Y. – Chet, I.: 1986. Biological control of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid by *Trichoderma harzianum*. *Crop Protection*, 5, 288-292.
- Eliassaint, A. – Lizárraga-Sánchez, G. J. – García-Léon, E. – Camacho-Tapia, M. – Cota-Barreras, C. I. – Tovarpedraza J. M.: 2021. Biocontrol de *Trichoderma* spp. contra el

- complejo de hongos causantes de la marchitez del garbanzo. Simposio Nacional de Garbanzo Memoria, 83-88 p.
- Érsek T.: 1979a. Újabb kórokozó gombák magyarországi előfordulása szóján. *Növényvédelem*, 15 (5) 208-214.
- Érsek T.: 1979b. Occurrence of charcoal rot and anthracnose of soybeans in Hungary. *Acta Phytopathologica*, 14: 17-21.
- Fischl, G. – Kadlicskó, S. – Ifj. Kovács, J.: 1995. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. okozta tőhervadás paprikán. *Növényvédelem*, 31 (12) 589-592.
- Fischl, G. – Csöndes, I. – Kadlicskó, S.: 2008. Az ezüstfenyő (*Pinus pungens* ENGELM.) vörösödését és pusztulását okozó tényezők vizsgálata. *Növényvédelem*, 44 (8) 401-402.
- Francl, L. J. – Wyllie, T. D. – Rosembrok, S. M.: 1988. Influence of Crop Rotation on Population Density of *Macrophomina phaseolina* in Soil Infested with *Heterodera glycines*. *Plant Disease* 72, 760-764.
- Gáborjányi, R. – Király, Z.: (2007): *Molekuláris növénykórtan*, Agroinform. 338 p. ISBN:978-963-502-871-9
- Gal-Hemed, I. – Atanasova, L. – Komon-Zelazowska, M. – Druzhinina, I. S. – Viterbo, A. – Yarden, O.: 2011. Marine isolates of *Trichoderma* spp. as potential halotolerant agents of biological control for arid-zone agriculture. *Applied and Environmental Microbiology*, 77 (15), 5100-5109.
- Gangopadhyay, S. – Wyllie, T. D. – Luedders, V. D.: 1970. Charcoal rot disease of soybean transmitted by seeds. *Plant Disease Reporter* 54: 1088–1091.
- Ghaffar, A. – Erwin, D. C.: 1969. Effect of soil water stress on root rot of cotton caused by *Macrophomina phaseoli*. *Phytopathology*, 59:795-797.
- Ghosh, T. – Biswas, M. K. – Guin, C. – Roy, P.: 2018. A review on characterization, therapeutic approaches and pathogenesis of *Macrophomina phaseolina*. *Plant Cell Biotechnology Molecular Biology* 19, 72–84.
- Ghosh, T. – Mukherji, N. – Basak, M.: 1964. On the occurrence of a new species of *Orbilaria* Fr. *Jute Bulletin* 27: 134– 141.
- Gilardi G. – Tinivella F. – Gullino M. L. – Garibaldi A.: 2005. Seed dressing to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* / Entwicklung eines Saatgutbehandlungsverfahrens zur Kontrolle von *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection* 112, 3 240-246

- Glass, N. L. – Jacobson, D. J. – Shiu, P. K. T.: 2000. The genetics of hyphal fusion and vegetative incompatibility in filamentous ascomycete fungi. *Annual Review of Genetics*, 34(1), 165–186. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.34.1.165>
- Goidanich G.: 1947 A Revision of the genus *Macrophomina* Petrak. type species: M. P. (Tassi) G. Goid. n. comb. M. P. (Maubl.) Ashby. *Ann Sper Agr N S* 3: 449– 461.
- Gupta G. K. – Sharma S. K. – Ramteke R.: 2012. Biology, Epidemiology and Management of the Pathogenic Fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with Special Reference to Charcoal Rot of Soybean (*Glycine max* (L.)) Merrill. *Phytopathology* 160 (4), 167–180. doi:10.1111/j.1439-0434.2012.01884.x
- Gupta, G. K. – Chauhan, G. S.: 2005. Symptoms, identification and management of soybean diseases. Technical Bulletin 10. Indore, India, National Research Centre for Soybean.
- Haig J. C.: 1928. *Macrophomina phaeoli* (Maubl.) Ashby. The picnidial stage of *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler. *Tropical Agriculturist (Ceylon)*, 70: 77-79.
- Haig J. C.: 1929. *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) Ashby and *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butl. *Tropical Agriculture*, 23: 3-4.
- Haleem, R. – Saedo, K. – Shareef, B.: 2016. Fungi colonized the roots of seedlings in forest nurseries. *Mycopathology* 14 (1) 9-13
- Harris E.: 1962. Disease of gluiheacorh. Samaru, *Technical Notes*, 2: 13
- Hartman, G. L. – Rupe, J. C. – Sikora, E. J. – Domier, L. L. – Davis, J. A. – Steffey, K. L.: 2015. Compendium of soybean diseases and pests. APS PRESS, the American Phytopathological Society.
- Higgins, D. G. – Sharp, P. M.: 1988 „Clustal: A package for performing multiple sequence alignment on a microcomputer” *Gene* 73. 1. 237-344
- Hodges C. S.: 1962. Black root rot of pine seedlings. *Phytopathology* 52 210-219.
- Hoffmaster, D. F. – Mclaughlin, J. H. – Ray, W. W. – Chester, K. S. 1943. The problem of dry rot caused by *Macrophomina phaseoli*. *Phytopathology* 33:1113.
- Horváth J.: 1995. A szántóföldi növények betegségei. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Hoyos-Carvajal, L. – Orduz, S. – Bissett, J.: 2009. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropic regions. *Fungal Genetics and Biology*, 46 (9), 615-631.
- Hunt J.: 1952. *List of intercepted plant pests, 1951* Service and Regulatory announcements. U.S. Department of Agriculture, Agricultural. Research Service, Plant Quarantine Division.

- Indira, N. – Gayatri, S.: 2003. Management of blackgram root rot caused by *Macrophomina phaseolina* by antagonistic microorganisms. *Madras Agriculture Journal* 90:490–494
- Iqbal, U. – Mukhtar, T.: 2014. Morphological and pathogenic variability among *Macrophomina phaseolina* isolates associated with mungbean (*Vigna radiata* L.) Wilczek from Pakistan. *The Scientific World Journal*, 2014, article ID 950175. <https://doi.org/10.1155/2014/950175>
- Jaklitsch, W. M. – Samuels, G. J. – Dodd, S. L. – Lu, B. S. – Druzhinina, I. S.: 2006. *Hypocrea rufa*/*Trichoderma viride*: a reassessment, and description of five closely related species with and without warted conidia. *Studies in Mycology*, 56, 135–177. <https://doi.org/10.3114/sim.2006.56.04>
- Jaklitsch W. M.: 2009. European species of *Hypocrea* Part I. The green-spored species. *Studies in Mycology*, 63, 1-91. Jaklitsch, W. M. (2011): European species of *Hypocrea* part II: species with hyaline ascospores. *Fungal Diversity*, 48 (1), 1-250.
- Jaklitsch W. M.: 2011. European species of *Hypocrea* part II: species with hyaline ascospores. *Fungal Diversity* 48:1–250
- Jakucs, E. – Vajna, L.: 2003. Mikológia. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Jana, T. K. – Singh, N. K. – Koundal, K. R. – Sharma, T. R.: 2005. Genetic differentiation of charcoal rot pathogen, *Macrophomina phaseolina*, into specific groups using URP-PCR. *Canadian Journal of Microbiology*, 51 159–164. 10.1139/w04-122
- Janse van Rensburg, B. – Flett, B.: 2012. Maize stalk rots: of importance in the current season. Grain South Africa. May 2012. Visited on 1 August 2022 <http://www.grainsa.co.za/maize-stalk-rots:-of-importance-in-the-current-season>.
- Jiménez-Díaz, R. M. – Blanco-López, M. A. – Sackston, W. E.: 1983. Incidence and distribution of charcoal rot of sunflower caused by *Macrophomina phaseolina* in Spain. *Plant Disease*. 63: 1033-1036.
- Kadlicskó S.: 1993. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. előfordulása Magyarországon és a fontosabb gazda-parazita kapcsolatok vizsgálata Kandidátusi értekezés. Keszthely.
- Kending, S. R. – Rupe, J. C. – Scott, H. D.: 2000. Effect of irrigation and soil water stress on densities of *Macrophomina phaseolina* in soil and roots of two soybean cultivars. *Plant Disease*, 84, 895–900.
- Khalili, E. – Javed, M. A. – Huyop, F. – Rayatpanah, S. – Jamshidi, S. – Wahab, R. A.: 2016. Evaluation of *Trichoderma* isolates as potential biological control agent against

- soybean charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina*. *Biotechnology – Biotechnological Equipment* 30 (3), 479-488.
- Khan, A. N. – Shair, F. – Malik, K. – Hayat, Z. – Khan, M. A. – Hafeez, F. Y. – Hassan M. N.: 2017. Molecular identification and genetic characterization of *Macrophomina phaseolina* strains causing pathogenicity on sunflower and chickpea. *Frontiers in Microbiology*, 8:1309. doi: 10.3389/fmicb.2017.01309
- Khan, M. A. – Gangopadhyay, S.: 2008. Efficacy of *Pseudomonas fluorescens* in controlling root rot of chickpea caused by *Macrophomina phaseolina*. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology*, 38 (3) 580-587.
- Kim, W. G. – Mathur, S. B.: 2006. Detection of *Alternaria* spp. in carrot seeds and effect of the fungi on seed germination and seedling growth *Journal of Plant Pathology* 22 (1) 11-15, doi:10.5423/PPJ.2006.22.1.011
- Koppányi, M. – Nagy, J. – Zsembery, S. – Bódis, Z.: 1993. Új hervadásos betegség cukorrépában. *Gyakorlati Agroforum*, 7: 41.
- Kouadri, M. E. A. – Zaim, S. – Bekkar, A. A.: 2021. First report of *Macrophomina pseudophaseolina* infecting *Lens culinaris*. *Australasian Plant Disease Notes*, 16, 26 <https://doi.org/10.1007/s13314-021-00440-0>
- Kovács, Cs. – Csótó, A. – Pál, K. – Antal, N. – Erzsébet, F. – Karaffa, L. – Kubicek, C. – Sándor, E.: 2021. The Biocontrol Potential of Endophytic *Trichoderma* Fungi Isolated from Hungarian Grapevines. Part I. Isolation, Identification and In Vitro Studies. *Pathogens*. 10. 12. 1612 <https://doi.org/10.3390/pathogens10121612>
- Kratzer, C. – Tobudic, S. – Schmoll, M. – Graninger, W. – Georgopoulos, A.: 2006. In vitro activity and synergism of amphotericin B, azoles and cationic antimicrobials against the emerging pathogen *Trichoderma* spp. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 58:1058–1061
- Kubicek, C. P. – Komon-Zelazowska, M. – Sándor, E. Druzhinina, I.: 2007. Facts and challenges in the understanding of the biosynthesis of peptaibols in *Trichoderma*. *Chemistry and Biodiversity*. 4. 1068-1082.
- Kudlíková, I. – Šárová, J. – Žalud, Z. – Veverka, K.: 2002. Neue Sonnenblumenkrankheiten in der Tschechischen Republik. In: 53. Pflanzenschutztagung DPG, Bonn 17.–19. 9. 356–357
- Kuhls, K. – Lieckfeldt, E. – Börner, T. – Guého, E.: 1999. Molecular reidentification of human pathogenic *Trichoderma* isolates as *Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma citrinoviride*. *Medical mycology*, 37. 1. 25–33.

- Kumar, P. – Gaur, V. K. – Meena, A. K. – Paliwal, S. K. – Meena, A. K.: 2015. Evaluation of antagonists isolated from rhizosphere of Mungbean against *Macrophomina phaseolina*. *International Journal of Tourism Anthropology* 33 (4) 2531–2536.
- Kumari, R. – Shekhawat, K. S.: 2012. Integrated management against root-rot of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) incited by *Macrophomina phaseolina*. *Indian Journal Plant Pathology Microbiology*, 3 (5) 215-747.
- Larkin, M. A. – Blackshields, G. – Brown, N. P. – Chenna, R. – McGettigan, P. A. – McWilliam, H. – Valentin, F. – Wallace, I. M. – Wilm, A. – Lopez, R. – Thompson, J. D. – Gibson T. J. – Higgins, D. G.: 2007. ClustalW and ClustalX version 2.0. *Bioinformatics Advance Access*. 2.
- Leslie J. F.: 1993. Fungal vegetative compatibility. *Annual Review of Phytopathology*, 31 (1) 127–150. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.31.090193.001015>
- Ligon, J. M. – Hill, D. S. – Hammer, P. E. – Torkewitz, N. R. – Hofmann, D. – Kempf, H. J. – Van Pee, K. H.: 2000. Natural products with antifungal activity from *Pseudomonas* biocontrol bacteria. *Pest Management Science* 56:688–695.
- Linhai, W. – Yanxin, Z. – Donghua, L. – Junbin, H. – Wenliang, W. – Lvhaixia, L. – Xiurong Z.: 2011. Variations in the isolates of *Macrophomina phaseolina* from sesame in China based on amplified fragment length polymorphism (AFLP) and pathogenicity. *African Journal of Microbiology Research*, 5: 5584-5590.
- Lodha, S. – Gupta, G. K. – Singh R. S.: 1986. Crop disease situation and some new records in Indian arid zone. *Annals Arid Zone* 25. 311-320.
- Lodha, S. – Mawar, R.: 2019. Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. *Journal of Phytopathology*, 168 (1) 1-17. doi:10.1111/jph.12854
- Lodha, S. – Singh, M.: 1985. Quantitative determination of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. in gram-legume intercropping systems. *Annals of Arid Zone* 23:259-261.
- Lokesh, R. – Rakholiya, K. B. – Thesiya, M. R.: 2020. Evaluation of Different Fungicides against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Causing Dry Root Rot of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) invitro. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9, 901-911.
- Machado, A. R. – Pinho, D. B. – Soares, D. J. – Gomes, A. A. M. – Pereira, O. L.: 2019. Bayesian analyses of five gene regions reveal a new phylogenetic species of *Macrophomina* associated with charcoal rot on oilseed crops in Brazil. *European Journal Plant Pathology*, 153(1), 89–100. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1545-1>

- Mackie W. W.: 1932. A hitherto unreported disease of maize and beans *Phytopathology* 22:637-644.
- Mahdizadeh, V. – Safaie, N. – Goltapeh, E. M.: 2011. Diversity of *Macrophomina phaseolina* based on morphological and genotypic characteristics in *Iranian Journal of Plant Pathology* 27 128–137. 10.5423/PPJ.2011.27.2.128
- Mahdizadeh, V. – Safaie, N. – Goltapeh, E.: 2012. Genetic diversity of sesame isolates of *Macrophomina phaseolina* using RAPD and ISSR markers. *Trakia Journal of Sciences* 10 65–74.
- Maneval W. E.: 1937. A List of the Missouri Fungi. University of Missouri Studied Scie. Ser. 12
- Manici, L. – Caputo, F. – Cerato, C.: 1995. Temperature Responses of Isolates of *Macrophomina phaseolina* from Different Climatic Regions of Sunflower Production in Italy. *Plant Disease*. 79. 834-838. 10.1094/PD-79-0834.
- Marič A. – Camprag D. – Masirevič S.: 1988. Bolesti i stetocine suncokreta i njihovo suzbijanje. Nolit, Beograd, 1–227.
- Marquez, N. – Giachero, M. L. – Declerck, S. – Ducasse, D. A.: 2021. *Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers Plant Science* 12:634397. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634397>
- Maruti Savitha, A. S. – Sunkad, G. – Amaresh, Y. S.: 2017. *In vitro* efficacy of fungicides and bioagents against dry root rot of pigeon pea caused by *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 5 (6) 1341-1347.
- Mengistu, A. – Ray, J. D. – Smith, J. R. – Paris, R. L.: 2007. Charcoal rot disease assessment of soybean genotypes using a colony-forming unit index. *Crop Science* 47: 2453–2461.
- Meyer, W. A. – Sinclair, J. B. – Khare, M. N.: 1973. Factors affecting charcoal rot of soybean seedlings. *Phytopathology* 64:845-849
- Mihail, J. D. – Taylor, S. J.: 1995. Interpreting variability among isolates of *Macrophomina phaseolina* in pathogenicity, pycnidium production, and chlorate utilization. *Canadian Journal of Botany* 73:1596–1603.
- Mihail, J. D.: 1992. *Macrophomina*. In: L. L. Singleton, J. D. Mihail, C. M. Rush. (eds) *Methods for Research on Soil-Borne Phytopathogenic Fungi*. St. Paul, MN, USA, American Phytopathological Society, pp 134– 136.
- Motta, E. – Annesi, T. – Balmas, V.: 1996. Seedborne fungi in Norway spruce: testing methods and pathogen control by seed dressing. *European Journal of Forest Pathology*, 26: 307-314. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb01076.x>

- Mughogho, L. K. – Pande, S. K.:* 1983. Charcoal Rot of Sorghum. A critical Review: Proceedings of the Consultative Group Discussion on Research Needs and Strategies for Control of Sorghum Root and Stalk Rot Diseases, 27 Nov - 2 Dec 1983, Bellagio, Italy.
- Mukhtar I.:* 2010. Sunflower Disease and insect Pests in Pakistan: A Review. *African Crop Science Journal* (ISSN: 1021-9730) 17 (2)
- Müller, D. – Grill, E.:* 1991. *Macrophomina phaseolina* on Sonnenblumen in Mittedeutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 43: 61–62.
- Nicholas, K. B. – Nicholas, H. B. – Deerfield, D. W.:* 1997. GeneDoc: Analysis and visualization of genetic variation. *Embnet. News* 4. 14.
- Nicolás, C. – Hermosa, R. – Rubio, B. – Mukherjee, P. K. – Monte, E.:* 2014. *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance-status and prospects. *Plant Sciences* 228, 71–78. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.03.005
- Nikandrow, A. – Weidemann, G. J. – Auld, B. A.:* 1990. Incidence and pathogenicity of *Colletotrichum orbiculare* and a *Phomopsis* sp. on *Xanthium* sp. *Plant Disease* 74: 796-799.
- Olaya, G. – Abawi, G. S.:* 1996. Effect of water potential on mycelial growth and on production and germination of sclerotia of *Macrophomina phaseolina*. *Plant Disease* 80:1347–1350
- Onan, E. – Çimen, M. – Karcilioğlu, A.:* 1992. Fungal diseases of sunflower in Aegean region of Turkey. *Journal of Turkish Phytopathology* 21 (2-3) 101-107
- Pandey, A. K. – Basandrai, A. K.:* 2021. Will *Macrophomina phaseolina* spread in legumes due to climate change? A critical review of current knowledge. *Journal of Plant Disease Protection* 128, 9–18 <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00374-2>
- Pantidou M. E.:* 1973. Fungus-host index for Greece. Benaki Phytopathol. Inst. Kiphissia, Athens. 382 p.
- Pastrana, A. – Basallote-Ureba, – M. Aguado, A. – Akdi, K. – Capote, N.:* 2016. Biological control of strawberry soil-borne pathogens *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium solani* using *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. *Phytopathologia Mediterranea*, 55 (1), 109-120. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-16363
- Pereira, T. S. – Machado, G. N. E. – Franco, C. C. S. – Mathias, P. C. F. – Soares, D. J. – Bock, C. H. – Nunes, W. M. C. – Zanutto, C. A. – Castro-Prado, M. A. A.:* 2018. Heterokaryosis and diploid formation among Brazilian isolates of *Macrophomina phaseolina*. *Plant Pathology*, 67 (9), 1857–1864. <https://doi.org/10.1111/ppa.12919>

- Petrak F.*: 1923. Mykologische Notizen, 289. Annual Mycology XX im 314-315.
- Pickel, B. – Dai, N. – Maymon, M. – Elazar, M. – Tanami, Z. – Frenkel, O. – Toamy, M. A. Mor, N. – Freeman, S.*: 2020. Development of a reliable screening technique for determining tolerance to *Macrophomina phaseolina* in strawberry. *European Journal of Plant Pathology* 157:707-718.
- Pontecorvo G.*: 1956. The parasexual cycle in fungi. *Annual Review of Microbiology*, 10 (1), 393–400. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.10.100156.002141>
- Prasad, J. Gaur, V. K. Mehta, S.*: 2013. Morphological and physiological variation among isolates of *Rhizoctonia solani* inciting wet root rot of chickpea. *Research in Plant Disease* 28 (2) 174-180
- Preston D. A.*: 1945. Host index of Oklahoma plant diseases. Oklahoma Agricultural and Mechanical College Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 1-168.
- Ramezani, M. – Shier, W. T. – Abbas, H. K. – Tonos, J. L. – Baird, R. E. – Sciumbato, G. L.*: 2007. Soybean charcoal rot disease fungus *Macrophomina phaseolina* in Mississippi produces the phytotoxin (-)-botryodiplodin but no detectable phaseolinone. *Journal of Natural Products* 70:128–129.
- Rao, T. G. N. – Balasubramanian, K. A.*: 1983. Use of rank correlation coefficient in deciding charcoal rot expression parameters in Sorghum. (En. *Indian Phytopathology* 36 (2) 363-364. 4 ref.
- Raut, J. G.*: 1981. Anthesis and seed development stage of sunflower in relation to seed-borne infection of *Macrophomina phaseolina* and comparison of charcoal rot affected plants with healthy plants (abstract. In *Third International Symposium on Plant Pathology, New Delhi, 14–18 December 1981* (Ed. IARI. New Delhi: Indian Agricultural Research Institute.
- Ravichandran, S. – Hegde, Y. R.*: 2017. Management of dry root rot of chickpea caused by *Rhizoctonia bataticola* through fungicides. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (7) 59416.
- Reichert I. – Hellinger E.*: 1947. On the occurrence, morphology, and parasitism of *Sclerotium bataticola*. *Journal of Palestine* 6: 107-147,
- Reznikov, S. – Chiesa, M. A. – Pardo, E. M. – De Lisi, V. – Bogado, N. – González, V. – Ledesma, F. – Morandi, E. N. – Ploper, D. – Castagnaro, A. P.*: 2019. Soybean-*Macrophomina phaseolina*-Specific interactions and identification of a novel source of resistance. *Phytopathology* 109, 63–73. doi: 10.1094/PHYTO-08-17-0287-R

- Reznikov, S. – Vellicce, G. R. – Mengistu, A. – Arias, R. S. – Gonzalez, V. – De Lisi, V. García, M. G. – Rocha, C. M. L. – Pardo, E. M. – Castagnaro, A. P. – Ploper, D. L.: 2018. Disease incidence of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) on soybean in north-western Argentina and genetic characteristics of the pathogen. *Canadian Journal of Plant Pathology* 40, 423–433. doi: 10.1080/07060661.2018.1484390
- Reznikov, S. Vellicce, G. R. González, V. De Lisi, V. Castagnaro, A. P. Ploper L. D.: 2016. Evaluation of chemical and biological seed treatments to control charcoal rot of soybean. *J Gen Plant Pathol* 82, 273–280 <https://doi.org/10.1007/s10327-016-0669-4>
- Rifai M. A.: 1969. A revision of the genus *Trichoderma*. Mycol Pap. 116. 1–56
- Romero Luna, – M. P. R. – Mueller, D. – Mengistu, A. – Singh, A. K. – Hartman, G. L. – Wise, K. A.: 2017. Advancing our understanding of charcoal rot in soybeans. *Journal of Integrated Pest Management* 8, 1-8.
- Rosada, L. J. – Sant'Anna, J. R. – Franco, C. C. S. – Esquissato, G. N. M. – Santos, P. A. S. R. – Yajima, J. P. R. S. – Ferreira, F. D. – Machinski, M. – Corrêa, B. – Castro-Prado, M. A. A.: 2013. Identification of *Aspergillus flavus* isolates as potential biocontrol agents of aflatoxin contamination in crops. *Journal of Food Protection*, 76(6), 1051–1055. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-436>
- Samuels G. J. – Lieckfeldt, E. – Nirenberg, H. I.: 1999. *Trichoderma asperellum*, a new species with warted conidia, and redescription of *T. viride*. *Sydowia*, 51, 71-88.
- Samuels, G. J. – Petrini, O. – Kühls, K. – Lieckfeldt, E. – Kubicek, C. P.: 1998. The *Hypocrea schweinitzii* complex and *Trichoderma* sect. *Longibrachiatum*. *Studies in Mycology* 41:1–54.
- Samuels G. J.: 2006. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. *Phytopathology*, 96 (2), 195-206.
- Sanabria-Velazquez, A. – Cubilla, A. – Flores-Giubi, M. – Barua, J. – Romero-Rodríguez, C. – Enciso-Maldonado, G. A. – Thiessen, L. – Shew, H. D.: 2022. First Report of *Macrophomina euphorbiicola* Causing Charcoal Rot of Stevia in Paraguay. *Plant disease*, 10.1094/PDIS-06-21-1279-PDN.
- Sandoval-Denis, M. – Sutton, D. A. – Cano-Lira, J. F. – Gené, J. – Fothergill, A. W. – Wiederhold, N. P. – Guarro, J.: 2014. Phylogeny of the clinically relevant species of the emerging fungus *Trichoderma* and their antifungal susceptibilities. *Journal of Clinical Microbiology* 52:2112–2125.

- Sangappa, G. – Mallesh, S. B.: 2016. Effect of bioagents and chemicals for the management of aerial blight and dry root rot of black gram incited by *Rhizoctonia bataticola*. *International Journal of Plant Protection*, 9 (2) 424429.
- Sarr, M. P. – Ndiaye, M. – Groenewald, J. Z. – Crous, P.: 2014. Genetic diversity in *Macrophomina phaseolina*, the causal agent of charcoal rot. *Phytopathologia Mediterranea*, 53 (3), 250–268. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-13736
- Saupe S. J.: 2000. Molecular genetics of heterokaryon incompatibility in filamentous ascomycetes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64 (3), 489–502. <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.3.489-502.2000>
- Savazzini, F. – Longa, C. M. O. – Pertot, I. 2009. Impact of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* SC1 on soil microbial communities of a vineyard in northern Italy. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1457–1465
- Sawada K.: 1916. A new stem-rot disease of the jute plant, caused by *Macrophoma Corchori* sp. nov. Japanese. Formosa Agric. Expt. Sta. Bull. 107 (Trans. Mycologia, XI (1919), 82-83.
- Scholefield, S. M. – Griffin, M. J.: 1979. Charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) on mung bean. *Plant Pathology* 28 (3) 155-156.
- Sharma, R. R. – Singh, D. – Singh, R.: 2009. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review. *Biological Control* 50:205–221 doi: 10.1016/j.biocontrol.2009.05.001
- Shaw F. J. F.: 1912 The morphology and parasitism of *Rhizoctonia*. Memoirs of the Department of Agriculture in India Botany, ser. IV. No. 6.
- Shaw F. J. F.: 1924. Studies in diseases of the jute plants. (2) *Macrophoma Corchori* Saw. Memoirs of the Department of Agriculture in India Botany, ser. VIII (1924), No.6.
- Shokes, F. M. – Lyda, S. D. – Jordan, W. R.: 1977. Effect of water potential on the growth and survival of *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 67: 239–241.
- Short, G. E. – Wyllie, T. D.: 1978. Inoculum potential of *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 68:742–746.
- Simay, E. I. – Kadlicskó, S.: 1993. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich újabb gazdanövényei Magyarországon. *Növényvédelem*, 29 (1-2) 27-28.
- Simay E. I.: 1987. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. három új gazdanövénye Magyarországon. *Növénytermelés*, 36: 91-96.
- Simay E. I.: 1990. Adatok a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. növényköréhez Magyarországon. *Növénytermelés*, 39: 23-26.

- Simay E. I.: 1991a. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. előfordulása dísznövényeken. 37. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest. Összefoglaló, 111.
- Simay E. I.: 1991b. A máriatövis (*Silybium marianum* (L.) Gaertn. hervadásos betegsége és gyökérrothadása. 37. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest. Összefoglaló, 112.
- Singh, R. D. N. – Kaiser, S. A. K. M.: 1995. Occurrence of pycnidial stage of charcoal rot pathogen *Macrophomina phaseolina* on maize stalk. *Advances in Plant Species*, 8 (1) 189-193.
- Singh, S. K. – Nene, Y. L. – Reddy, M. V.: 1990. Influence of cropping systems on *Macrophomina phaseolina* in soil. *Plant Disease* 74, 812–814
- Small W.: 1924. A *Rhizoctonia* causing root disease in Uganda. *Transactions of the British Mycological Society*. IX, 152-166.
- Small W.: 1926. On the identity of *Rhizoctonia lammellifera* and *Sclerotium bataticola* *Transactions of the British Mycological Society*. X. 287-302.
- Small W.: 1928. On *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler as a cause of root disease in the tropics. *Transactions of British Mycological Society* 13: 40-68.
- Sreedevi, B. – Charitha Devi. M. – Saigopal D. V. R.: 2011. Isolation and screening of effective *Trichoderma* spp. against the root rot pathogen *Macrophomina phaseolina*. *Journal of Agricultural Technology* 7:623–635
- Sreevidya, M. – Gopalakrishnan, S.: 2012. Bacteria and actinomycetes as biocontrol agents for the control of fungal pathogens of chickpea and sorghum. In: *International conference proceeding, ICPHM, Hyderabad*, 263.
- Strom, N. B. – Bushley, K. E.: 2016. Two genomes are better than one: History, genetics, and biotechnological applications of fungal heterokaryons. *Fungal Biology and Biotechnology*, 3 (1), 1–4. <https://doi.org/10.1186/s40694-016-0022-x>
- Su, G. – Suh, S. O. – Schneider, R. W. – Russin, J. S.: 2001. Host specialization in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 91, 120– 6.
- Szendrő P. 1980. *A napraforgó termesztése*. Mezőgazdasági kiadó. ISBN: 963 231 007 1
- Tančić Živanov, S. – Dedić, B. – Dimitrijević, A. – Dušanić, N. – Jocić, S. – Miklič, V. – Kovačević B. – Miladinović D.: 2019. Analysis of genetic diversity among *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. isolates from Euro-Asian countries. *Journal of Plant Diseases and Protection* 126, 565–573. doi: 10.1007/s41348-019-00260-6
- Taubenhaus J. J.: 1913. The black rots of the sweet potato. *Phytopathology* 3: 159-166.

- Thompson, A. – Johnston, A.: 1953. *A host list of plant diseases in Malaya*. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey UK No. 52. 38 pp.
- Thompson, J. D. – Gibson, T. J. – Plewniak, F. – Jeanmougin, F. – Higgins, D. G.: 1997. The CLUSTAL_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools, *Nucleic Acids Research*. 25. 4876-488.
- Tiwari, A. – Shroff, V. N.: 1982. Differential reaction of cotton genotypes to root rot. *Indian Phytopathology* 35:514-515.
- Tonin, R. – Fatima, B. – Avozani, A.: 2013 Efficacy of fungicides against *M. phaseolina* in cotton. *Agropecuaria Tropical* 43:460–466
- Turkensteen, L. J. – Lablans, W. N.: 1988. Meteorological aspects of disease management in potato crops. In: *Acta Horticulturae*, 214 157-163.
- Vajna, L. – Rozsnyai, Zs.: 1995. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. és a *Diaporthe eres* Nitschke, mint a fiatal kajszifák elhalásában szerepet játszó gombák Magyarországon. *Növényvédelem*, 31 (2) 81-83.
- Van der Waals, J. E. – Krüger, K. – Franke, A. C. – Haverkort, A. J. – Steyn, J. M.: 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems. 3. Effects on relative development rates of selected pathogens and pests. *Potato Research* 56, 67-84.
- Vandemark, G. – Martínez, O. Pecina, V. – Alvarado, M. D. J.: 2000. Assessment of genetic relationships among isolates of *Macrophomina phaseolina* using a simplified AFLP technique and two different methods of analysis. *Mycologia*, 92 (4), 656–664.
- Verma, M. – Brar, S. K. – Tyagi, R. D. – Sahai V. – Prévost D. – Valéro J. R. – Surampalli R. Y.: 2007. Bench-scale fermentation of *Trichoderma viride* on wastewater sludge: rheology, lytic enzymes and biocontrol activity. *Enzyme and Microbial Technology* 41 (6) 764–771.
- Vincent J. M.: 1947. Distortion of fungal hyphae in the presence of certain inhibitor. *Nature*, 159-850.
- Vörös, J. – Manninger, I.: 1973. A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. előfordulása kukoricán, Magyarországon. *Növényvédelem*, 9: 193-195.
- Waalwijk C. – Mendes, O. – Verstappen, E. C. P. – De Waard, M. A. – Kema, G. H. J.: 2002. Isolation and characterization of the mating-type idiomorphs from the wheat Septoria leaf blotch fungus *Mycosphaerella graminicola*. *Fungal Genetics and Biology* 35, 277–286.

- Woo, S. L. – Ruocco, M. – Vinale, F. – Nigro, M. – Marra, R. – Lombardi, N. – Pascale, A. – Lanzuise, S. – Manganiello, G. – Lorito, M.: 2014. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. *Open Mycology Journal.*;8:71–126. doi: 10.2174/1874437001408010071.
- Wyllie, T. D. – Calvert, O. H.: 1969. Effect of flower removal and pod set on formation of sclerotia and infection of *Glycine max* by *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 59:1243–1245.
- Yang, X. B. – Navi, S. S.: 2005. First report of charcoal rot epidemics caused by *Macrophomina phaseolina* in soybean in Iowa. *Plant Disease* 89: 526–526.
- Young, P. A. 1949. Charcoal rot on plants in East Texas. Texas Agriculture Experimental Station Bulletin, 712
- Zizzerini A.: 1980. Sunflower diseases in Italy. *Helia*, 3:45–46.
- Žerjav M. – Rodič, K. – Zemljič, M. U. – Schroer, H. J.: 2017. Soybean diseases caused by fungi in Slovenia Lectures and papers: presented at the 13th Slovenian conference on plant protection with international participation Rimske Toplice, March 7-8 2017.
- Zhao, L. – Cai, J. – He, W. – Zhang, Y.: 2019. *Macrophomina vaccinii* sp. nov. causing blueberry stem blight in China. *MycKeys*, 55, 1.

Internetes források:

Internet 1: <https://www.syngenta.hu/napraforgo-nk-neoma> (letöltés: 2023.03.18.)

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/113/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Csüllög Kitti
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10071636

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* gomba, mint a létező klímaváltozás egyik bioindikátorának kutatása.
In: Növényorvos képzés Debrecenben. Szerk.: Tarcali Gábor, Kövics György, Radócz László, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 323-336, 2021. ISBN: 9789634903475

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

2. **Csüllög, K.**, Rácz, D., Tarcali, G.: Effectiveness of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* in poisoned media technique in vitro.
In: Precision Agriculture and Sustainable Crop Production. Ed.: H. K. Chourasia, K. Acharia, V. K. Singh, Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi, 53-62, 2020. ISBN: 9788170196679

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

3. **Csüllög, K.**, Biró, G., Gonsalves, J. D., Sanga, S. M., Tuly, N. M., Abushawish, A. K., Tóth, G., Vartek, C., Erhardt, N., Tarcali, G., Csótó, A.: Examination of the efficacy of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* and *Sclerotinia sclerotiorum* in laboratory conditions.
Agrártud. Közl. 1, 21-24, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/10692>
4. **Csüllög, K.**, Prokopic, S., Tarcali, G.: Investigation of the mycelial compatibility of *Macrophomina phaseolina* in the Carpathian Basin.
Agrártud. Közl. 1, 25-28, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/10654>
5. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: Examination of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* in laboratory conditions.
Agrártud. Közl. 2, 65-69, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/2/3768>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

6. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: Investigation of the mycelial compatibility of *Macrophomina phaseolina*.
Folia Oecologica. 47 (2), 155-158, 2020. ISSN: 1336-5266.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/foecol-2020-0018>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

7. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. kórokozó gomba elleni fungicid védekezés tesztelése in vitro körülmények között.
Georgicon Agric. 24 (1), 23-30, 2020. ISSN: 0239-1260.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (7)

8. **Csüllög, K.**, Riczu, P., Tarcali, G.: A *Macrophomia phaseolina* elterjedtsége Magyarországon és Európában.
In: Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara : XVII. Növényorvos nap, Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara, Budapest, 81-82, 2022.
9. **Csüllög, K.**, Seres, E., Tarcali, G., Tóth, G., Csótó, A.: A prokloráz hatóanyag hatékonysága in vivo körülmények között a *Macrophomina phaseolina* növénykórokozó gombára napraforgó állományban.
In: 27. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum : Program és Összefoglalók. Szerk.: Kövics György, Tarcali Gábor, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 45-46, 2022.
10. **Csüllög, K.**, Tóth, G., Tarcali, G.: Szisztemikus fungicidok tesztelése in vitro körülmények között a napraforgó két kiemelten fontos kórokozója ellen.
In: 25-26. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum 9th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen Összefoglalók - Abstracts. Szerk.: Kövics György, Tarcali Gábor, DE MÉK, Debrecen, 72-73, 2021.
11. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* elterjedése és kártétele napraforgóban Magyarországon.
In: 25-26. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum 9th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen : Abstracts. Szerk.: Kövics György, Tarcali Gábor, DE MÉK, Debrecen, 58-59, 2021.
12. **Csüllög, K.**, Prokopics, S., Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* micéliális kompatibilitásának vizsgálata.
In: 25-26. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum 9th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen Összefoglalók - Abstracts. Szerk.: Kövics György, Tarcali Gábor, DE MÉK, Debrecen, 55-57, 2021.





13. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* elleni védekezés különböző gombaölő szerekkel in vitro körülmények között.
In: XXIII. Tavasz Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia.
Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 30, 2020. ISBN: 9786155586705
14. **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: A *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich kelet-magyarországi elterjedtségének vizsgálata.
In: 24. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum. Program és Összefoglaló, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 40-41, 2019.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

15. **Csüllög, K.**, Rácz, D., Tarcali, G.: The Charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) on sunflower in Hungary.
In: 60. Österreichischen Pflanzenschutztag : Tagungsband, [s.n.], Leibnitz, 67, 2019.

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

16. Tarcali, G., Varga, M., Biró, G., **Csüllög, K.**: Az agrokemizálás zászlóshajója: a kémiai növényvédő szerek alkalmazása, történelme és aktuális helyzete = Use, history and current situation of chemical pesticides.
In: Az agrokémia, talajtan és a kapcsolódó tudományok időszerű kérdései : Jubileumi kiadvány. Szerk.: Balláné Kovács Andrea, Kocsisné Demjén Ágnes, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 345-375, 2022. ISBN: 9789634904717

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

17. Tarcali, G., Szalai, B., **Csüllög, K.**, Nagy-Szalárdi, T., Bodnár, D.: Investigations of phytoplasma diseases on apricot and grapevine in Hungary and Central Europe.
In: Precision Agriculture and Sustainable Crop Production. Ed.: H. K. Chourasia, K. Acharia, V. K. Singh, Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi, 27-52, 2020. ISBN: 9788170196679

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (7)

18. Pintér, C., Kövics, G., Biró, G., **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: Az európai mogyoró (*Corylus avellana*) lisztharmat betegségei: a *Phyllactinia guttata* és az újonnan megjelent *Erysiphe corylacearum* Magyarországon.
84 (3), 93-103, 2023. ISSN: 0133-0829.





19. Pintér, C., Kövics, G., Biró, G., **Csüllög, K.**: Lisztharmat gombák az európai mogorón (Corylus avellana).
Georgicon Agric. 26 (1), 147-154, 2022. ISSN: 0239-1260.
20. **Csüllög, K.**, Tarcali, G., Ragó, A., Lelesz, J. É., Fehér, M., Virág, I. C., Kutasy, E., Biró, G.:
Védekezés a fehérpenészes rothadást okozó Sclerotinia sclerotiorum növénykórokozó
gomba ellen cickafark olajjal és nátrium- kloriddal in vitro környezetben.
Georgicon Agric. 26 (1), 115-125, 2022. ISSN: 0239-1260.
21. Kövics, G., Tarcali, G., **Csüllög, K.**, Rácz, D., Biró, G., Csótó, A., Szarukán, I., Nagy, A., Szanyi,
S., Szilágyi, A., Kovács, G. E., Radócz, L.: A szója integrált védelme.
Növényvédelem. 81 (6), 251-275, 2020. ISSN: 0133-0829.
22. Tarcali, G., **Csüllög, K.**: Növényorvosok a termelés az élelmiszer, a fogyasztó és környezet
biztonságáért.
Növényvédelem. 55 (1), 38-44, 2019. ISSN: 0133-0829.
23. Tarcali, G., Bodnár, D., **Csüllög, K.**: Növényorvosok élelmünkért, egészségünkért: Beszámoló a
12. Növényorvos Napról.
Növényvédelem. 53 (78), 550-556, 2017. ISSN: 0133-0829.
24. Lantos, F., **Csüllög, K.**, Albert, R., Künstler, A., Király, L.: A kalciumhiány és a szuperoxid (O₂-)
termelődésének összefüggése paprikabogyó-szövetekben.
Kertgazdaság. 47 (3), 25-28, 2015. ISSN: 1419-2713.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

25. Biró, G., **Csüllög, K.**, Tarcali, G., Fehér, M., Virág, I. C., Kutasy, E., Csajbók, J., Lelesz, J. É.:
Inhibition of the spread of Sclerotinia sclerotiorum in aquaponics.
Agrártud. Közl. 1, 5-8, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/10736>
26. Bodnár, D., **Csüllög, K.**, Tarcali, G.: Review of the biology of plant psyllid (Cacopsylla pruni,
Scopoli 1763), and its role in the spreading of European stone fruit yellows, ESFY-
phytoplasma with Hungarian data.
Agrártud. Közl. 74, 25-33, 2018. ISSN: 1587-1282.
DOI: <https://doi.org/10.34101/actaagrar/74/1660>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

27. **Csüllög, K.**, Tóth, B., Lelesz, J. É., Fehér, M., Virág, I. C., Kutasy, E., Jász, B., Tarcali, G., Biró,
G.: First report of Sclerotinia sclerotiorum on watercress (Nasturtium officinale) in aquaponic
system in Hungary.
Plant Dis. 106 (2), 767, 2022. ISSN: 0191-2917.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1472-PDN>
IF: 4.614 (2021)





Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

28. **Csüllög, K.**, Bodnár, D., Albert, R., Tarcali, G.: A paprika száraz magházkorhadása (*Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.) és a kalciumhiány okozta nekrozis kapcsolata.
Georgicon Agric. 22 (1), 7-12, 2018. ISSN: 0239-1260.
29. Lantos, F., **Csüllög, K.**, Györgyi, E., Fazakas, P., Molnár, L.: Alternatívák, lehetőségek a batáta (*Ipomoea batatas*) hazai kertészeti termesztésben.
In: Integrált termesztés a kertészeti és szántóföldi kultúrákban XXXII. : Budapest, 2015. november 25.. Szerk.: Gál Péter, Novák Róbert, Pánczél Milán, Ripka Géza, MNT, Budapest, 79-84, 2015. ISBN: 9789638969033

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

30. Virág, I. C., Kutasy, E., Lelesz, J. É., Biró, G., Tarcali, G., **Csüllög, K.**: Appearance of aspergillus flavus and aspergillus niger toxin producing fungi on maize around debrecen in 2019 and 2020.
In: 44th Conference For Students Of Agriculture And Veterinary Medicine With International Participation : Proceedings book, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, 95-101, 2020.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

31. **Csüllög, K.**, Ragó, A., Tóth, B., Lelesz, J. É., Fehér, M., Virág, I. C., Kutasy, E., Biró, G., Tarcali, G.: A vizitorma (*Nasturtium officinale*), a fehérpenészes rothadást okozó *Sclerotinia sclerotiorum* gomba új gazdanövénye akvapóniás rendszerben Magyarországon.
In: 25-26. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum 9th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen Összefoglalók - Abstracts. Szerk.: Kövics György, Tarcali Gábor, DE MÉK, Debrecen, 61-62, 2021.
32. Király, L., Albert, R., **Csüllög, K.**, Tarcali, G., Künstler, A.: Fokozott spontán sejtelhalás és kalcium-felhalmozódás - az oltással átvihető lisztharmat rezisztencia előrejelzése paprikában.
In: 66. Növényvédelmi Tudományos Napok 2020. Szerk.: Haltrich Attila, Varga Ákos, Magyar Növényvédelmi Társaság, Budapest, 92, 2020.
33. **Csüllög, K.**, Albert, R., Tarcali, G.: A kalciumhiány okozta csúcsrothadás és az *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. kapcsolatának vizsgálata különböző paprikafajtákon.
In: 23. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum : 8th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen : Program-Összefoglalók, DE MÉK, Debrecen, 41-42, 2018.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

34. Cheradil, A. E. B. D., Tarcali, G., **Csüllög, K.**, Boukhili, M.: Study of chemical control options against chestnut blight disease.
In: 19th Wellmann International Scientific Conference : Book of abstract. Ed.: Kiss Orsolya, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 20, 2022. ISBN: 9789633068601





35. Tarcali, G., **Csüllög, K.**, Radócz, L., Kovács, G. E.: New results of research on hypovirulent fungal strains against chestnut blight fungus (*Cryphonectria parasitica*) in Hungary and Central Europe.
In: National Seminar on Recent Advances in Fungal Diversity, Plant-Microbes Interaction and Disease Management RFPIDM-2020, Banaras Hindu University, Varanasi, 15-16, 2020.
36. **Csüllög, K.**, Rácz, D., Tarcali, G.: The Charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.) in Hungary.
In: National Seminar on Recent Advances in Fungal Diversity, Plant-Microbes Interaction and Disease Management RFPIDM-2020, Banaras Hindu University, Varanasi, 76-77, 2020.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 4,614

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2023.04.18.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm konzulensemnek Dr. Tarcali Gábornak (Debreceni Egyetem, Növényvédelmi Intézet), hogy végig támogatta és nagymértékben segítette a munkámat.

Köszönöm Prof. Dr. Karaffa Erzsébet Mónikának, hogy a molekuláris biológiai azonosításban maximális szakmai segítséget nyújtott, valamint a konfrontációs teszthez szükséges *Trichoderma* fajokat biztosította.

Köszönöm Biró Györgyinek (Debreceni Egyetem, Növényvédelmi Intézet), hogy a dolgozatomhoz szükséges anyagi megrendeléseket lebonyolította, a molekuláris azonosításban és az alapvető laborgyakorlatok elsajátításában segédkezett.

Köszönöm Dr. Riczu Péternek a térinformatikában nyújtott segítségét.

Köszönöm Virág István Csabának és Tukacs Zoltánnak, hogy a kísérletek beállításában és értékelésében nagy segítségemre voltak.

Köszönöm szakdolgozóimnak Duró Bernadettnek, Erhardt Nórának, Simon Diának, Vartek Cintióának, Nagy Zoltánnak és különösen Tóth Gyulának, hogy segítették munkámat.

Köszönöm a terület gazdáinak, akik biztosítottak számunka a károsítás mértékét felmérő helyszíneket és segítették az értékelést: Oláh Zsuzsa Laura, Oláh László, Borgula Péter, Faluházi Tamás, Baukó Tamás, Dráguly Sándor, Dráguly Tamás, Harkály László és Baranyi Zsolt.

Köszönöm Horváth Andrásnak az elsőosztályú Syngenta NK Neoma csávázatlan vetőmag és a hatóanyagok beszerzésében nyújtott segítségét.

Köszönöm Seres Emesének a szántóföldi kísérlet beállításában nyújtott segítségét.

Köszönöm Dr. habil Nagy Antalnak (Debreceni Egyetem, Növényvédelmi Intézet) és Csótó Andrásnak (Debreceni Egyetem, Növényvédelmi Intézet), hogy a statisztikai elemzésekben és a kísérletek beállításában segítettek munkámat.

Köszönöm Prof. Dr. Veres Szilviának, Prof. Dr. Kövics Györgynek, Prof. Dr. Nagy Jánosnak és Dr. Kiss Lászlónak a szakmai tanácsokat.

Köszönetem fejezem ki a Kooperatív Doktori Pályázat KDP-2020 (NKFIH) támogatásáért.

Végül, de számomra legelső sorban hálás köszönettel tartozom édesanyámnak, édesapámnak, testvéremnek, nagyszüleimnek, Irénkének, Pistának, Anikónak és Endrének, valamint barátaimnak, mert mindvégig szeretettel támogattak és bátorítottak, motiváltak a tanulmányaim, munkám és az értekezés elkészítése során.

12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2023.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Csüllög Kitti doktorjelölt 2019-2023 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2023.....

.....

a témavezető aláírása

13. Mellékletek

1. melléklet: A DNS kinyerése NucleoSpin® Plant II (MACHEREY-NAGEL) protokoll alapján

NucleoSpin® Plant II (MACHEREY-NAGEL) protokoll

Az izolálás megkezdése, a thermoshakert 65°C-ra kell beállítani

Az elúció előtt a nukleázmentes vizet fel kell melegíteni 70°C-ra

Sejt lízise PL1 pufferrel

- Kerámiagyöngyöket tartalmazó csövekbe 400 µl PL1 puffert mérni
- A minták homogenizálása Disruptor készülékben
- A homogenizátumokhoz 10 µl RNase A oldat adása, majd keverés vortex-el
- A lizátumokat 10 percig 65°C-on Thermo Shaker-ben inkubálni

Homogenizátum tisztítása a Nucleospin lila oszlopon

- NucleoSpin oszlopot gyűjtőcsőbe helyezni és a feltárt mintákat felvinni az oszlopra.
- Centrifugálás 2 percig 11 000 xg-n. A tiszta alulúszó összegyűjtése (a NucleoSpin oszlopot nem használjuk tovább - kidobható)
- Az alulúszókat tiszta, 450 µl PC puffert tartalmazó Eppendorf csövekbe mérni majd vortexel összekeverni

DNS megkötése a Nucleospin szilikamembránon (zöld gyűrűvel)

- NucleoSpin Plant II oszlopot (zöld gyűrűs) új gyűjtőcsőbe helyezni és a mintákat (700 µl) az oszlopra pipettázni
- A mintákat 1 percig 11000 x g-n centrifugálni, majd eldobni az alulúszót, az oszlopot pedig visszatenni a gyűjtőcsőbe

A szilika membrán mosása:

- 400 µl PW1 mosó puffert pipettázni az oszlopra
- Centrifugálás 1 percig 11000 x g-n, majd az alulúszót eldobni

A szilikamembrán mosása és szárítása:

1. mosás:

- 700 µl PW2 puffert pipettázni az oszlopra
- Centrifugálás 1 percig 11000 x g-n, az alulúszót leönteni

2. mosás:

- megismételni az előző lépést 200 µl PW2 pufferrel

- A szilikamembrán szárítása, hogy a maradék etanol elpárologjon az oszlopról

Nagy tisztaságú DNS eluálása

- Az oszlopot egy új 1.5 ml-es centrifugacsőbe helyezni
- 50µl 70°C-os nukleáz mentes vizet pipetázni az oszlopra
- Az oszlopot 5 percig 70°C -on inkubálni thermoshakerben
- Centrifugálás 1 percig 11000 x g-n, (DNS eluálása)
- Az utolsó lépés megismételhető újabb 50 µl nukleázmentes vízzel.
- DNS tárolása -20 °C-on

2. **melléklet:** A PCR termék tisztítása NucleoSpin* Gel and PCR Clean up (Macherey-Nagel) segítségével

- PCR termékhez kétszeres mennyiségű NTI puffert pipetázni a PCR csőbe (esetünkben 60 µl PCR termékhez 120 µl NTI puffer + PCR termék kiegészítése, ha szükséges)
- A mintákat áthelyezni a szilikamembránnal ellátott oszlopokra. Az oszlopokat gyűjtőcsövekbe helyezni, centrifugálni: 1 min, 11000 g (alulúszót eltávolítani)
- 700 µl NT3 puffert pipetázni az oszlopokra, centrifugáljuk: 1 min, 11000 g (alulúszót eltávolítani)
- Megismételni az előző lépést
- Üresen centrifugálni az oszlopokat: 1 min, 11 000 g
- Eluálás: Az oszlopokat új 1,5 ml-es Eppendorf csövekbe helyezni. 20 µl NE puffert pipetázni az oszlopokra, szobahőmérsékleten inkubálni: 1 min, majd centrifugálni: 1 min, 11 000g (oszlopokat eltávolítani)

3. melléklet: A törzsfához használt *Macrophomina* fajok adatai

Faj	Izolátum azonosító	Gazdanövény	Találat helye	NCBI génbank azonosító		Forrás
				ITS	<i>Tef 1-a</i>	
<i>M. phaseolina</i>	7E64	<i>Prunus dulcis</i>	Kalifornia, USA	KC357271	KC357289	Chen és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 225.33	<i>Brassica rapa</i>	Sierra Leone	KF951625	KF951999	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 229.33	<i>Cajanus indicus</i>	Sri Lanka	KF951629	KF952002	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 230.33	<i>Gossypium herbaceum</i>	Szudán	KF951630	KF952003	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 231.33	<i>Saccharum officinarum</i>	India	KF951631	KF952004	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 270.34	<i>Vigna sinensis</i>	Missouri, USA	KF951632	KF952005	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 271.34	<i>Chrysanthemum</i> sp.	Missouri, USA	KF951633	KF952006	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 313.51	<i>Sorghum</i> sp.	Venezuela	KF951634	KF952007	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 416.62	<i>Arachis hypogaea</i>	Portugál	KF951635	KF952008	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 460.70	<i>Glycine max</i>	Dánia	KF951639	KF952012	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CBS 461.70	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Dánia	KF951640	KF952013	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 11056	<i>Vigna unguiculata</i>	Niger	KF951645	KF952018	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 11076	Soil	Szenegál	KF951665	KF952048	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 11095	Soil	Szenegál	KF951678	KF952056	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 11104	<i>Panicum miliaceum</i>	Szenegál	KF951686	KF952065	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 13080	<i>Sesamum indicum</i>	Mexikó	KF951695	KF952068	Sarr és munkatársai,
<i>M. phaseolina</i>	CPC 13081	<i>Glycine max</i>	Mexikó	KF951696	KF952070	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21394	<i>Vigna unguiculata</i>	Szenegál: Thiés	KF951786	KF952148	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21398	<i>Arachis hypogaea</i>	Szenegál: Louga	KF951787	KF952149	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21400	<i>Arachis hypogaea</i>	Szenegál: Louga	KF951788	KF952150	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21458	<i>Arachis hypogaea</i>	Szenegál: Louga	KF951793	KF952155	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21459	<i>Arachis hypogaea</i>	Szenegál: Louga	KF951794	KF952156	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CBS 137167	<i>Hibiscus sabdarifa</i>	Szenegál: Samt-Louis	KF95179	KF952157	Sarr és munkatársai,
<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21501	<i>Hibiscus sabdarifa</i>	Szenegál: Samt-Louis	KF951796	KF952158	Sarr és munkatársai,

<i>M. pseudophaseolina</i>	CPC 21527	<i>Hibiscus sabdarifa</i>	Szenegál: Samt-Louis	KF951801	KF952163	Sarr és munkatársai,
<i>M. euphorbiicola</i>	CMM 4045	<i>Jatropha gossypifolia</i>	Brazília	KU058928	KU058898	Zhao et al (2019)
<i>M. euphorbiicola</i>	CMM 4134	<i>Ricinus communis</i>	Brazília	KU058936	KU058906	Zhao et al (2019)
<i>M. euphorbiicola</i>	CMM 4145	<i>Ricinus communis</i>	Brazília	KU058937	KU058907	Zhao et al (2019)
<i>M. euphorbiicola</i>	-	<i>Stevia rebaudiana</i>	Paraguay	MT645815	MT659121	Sanabria-Velazquez et al (2022)
<i>M. vaccinii</i>	CGMCC 3.19503	<i>Vaccinium</i> sp.	Kína	MK687450	MK687426	Zhao et al (2019)
<i>M. vaccinii</i>	CGMCC 3.19504	<i>Vaccinium</i> sp.	Kína	MK687451	MK687427	Zhao et al (2019)
<i>M. vaccinii</i>	CGMCC 3.19505	<i>Vaccinium</i> sp.	Kína	MK687452	MK687428	Zhao et al (2019)
<i>M. vaccinii</i>	CGMCC 3.19506	<i>Vaccinium</i> sp.	Kína	MK687453	MK687429	Zhao et al (2019)
<i>M. vaccinii</i>	CGMCC 3.19507	<i>Vaccinium</i> sp.	Kína	MK687454	MK687430	Zhao et al (2019)

Forrás: Saját szerkesztés

Ábrajegyzék

1. ábra: Mikroszkleróciumok napraforgószár bélszövetében (mikroszkópi felvétel) ...	11
2. ábra: Táptalajon képződött mikroszklerócium mérete (mikroszkópi felvétel).....	11
3. ábra: A <i>M. phaseolina</i> Európa-szintű elterjedése.....	21
4. ábra: A 2019-es és 2022-s évben végzett felmérések területei a kistérségek megjelölésével. Szerkesztette: Dr. Riczu Péter	30
5. ábra: A prokloráz, mint csávázó és minir állománykezelő szer tesztelésének kísérleti tervre szántóföldi körülmények között (Debrecen 2021)	38
6. ábra: A kutatásban igazolt <i>Macrophomina</i> sp. által fertőzött területek.....	41
7. ábra: Laktofenolos gyapotkék festékkel festett micélium napraforgó bélszövetben.	42
8. ábra: A gyökérnyakból vett mintából fejlődött <i>Macrophomina</i> sp. tenyészet	42
9. ábra: A levelek turgorának elvesztése és elszáradása a fertőzés következtében foltszerűen (Debrecen, 2021).....	42
10. ábra: A levelek turgorának elvesztése és elszáradása elszórtan a területen (Debrecen, 2021).....	42
11. ábra: A fertőzés hatására tányérátmérő csökkenés (jobbról az egészséges, balról a fertőzött; Debrecen, 2021)	43
12. ábra: A fertőzés következtében leváló epidermiszréteg (Debrecen, 2021)	44
13. ábra: Mikroszkleróciumok a gyökérnyakon (Debrecen, 2021).....	44
14. ábra: <i>Marophomina</i> kórokozó által foltszerűen fertőzött debreceni napraforgó tábla (Debrecen, 2021)	44
15. ábra: <i>Macrophomina</i> kórokozó által foltszerűen fertőzött domboldali terület (Keszthely, 2021).....	45
16. ábra:	46
17. ábra: Mikroszkleróciumok egy elszáradt szár belsejében (Debrecen, 2021)	46
18. ábra: Mikroszkleróciumok egy zöld szár belsejében (Szeghalom, 2022)	46
19. ábra: A vegetációs időszakban hullott csapadék, átlaghőmérséklet és hőségnapok hatása a fertőzött növények számára (2019-es és 2020-as év)	50
20. ábra: Hifa-anasztomózis két kompatibilis törzs között	52
21. ábra: Barrier zóna két izolátum között	52
22. ábra: Feltisztulási zóna	53
23. ábra: Kompatibilis kapcsolat	53
24. ábra: <i>Macrophomina</i> izolátumok ITS szekvencia alapján szerkesztett filogenetikai törzsfája.....	57

25. ábra: <i>Macrophomina</i> izolátumok TEF- α szekvencia alapján szerkesztett filogenetikai törzsfája.....	58
26. ábra: Konfrontációs zóna kialakulása a vizsgálat második napján a <i>Trichoderma</i> sp. és a DENI_MacPha026-os izolátum között.....	59
27. ábra: A <i>Trichoderma</i> fajok Inh% és BCI% eredményei a harmadik napon.....	60
28. ábra: A <i>Trianum</i> készítmény hatékonysága <i>in vitro</i> körülmények között az ötödik napon (balról a Petri-csésze alulról fotózott képe; fent a patogén, lent az angatonista telep/jobbról a Petri-csésze felülről fotózott képe; fent a patogén micélium és mikroszklerócium telepe, lent az angatonista telep).....	61
29. ábra: A <i>Trichoderma</i> fajok hatékonysága a kórokozóval szemben a hatodik napon	61
30. ábra: A <i>Trichoderma</i> fajok BCI% eredményei a hetedik napon	62
31. ábra: A hatóanyagok legkisebb dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon	64
32. ábra: A hatóanyagok fél dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon.....	65
33. ábra: A hatóanyagok maximális dózisainak gátló hatása a patogén micéliális növekedésére a harmadik napon	66
34. ábra: A hatóanyagok legkisebb dózisainak gátló hatása a patogén mikroszklerócium telepeire az ötödik napon	67
35. ábra: A hatóanyagok maximális dózisainak gátló hatása a patogén mikroszklerócium telepeire az ötödik napon	68
36. ábra: A nem kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhosszai (csávázott: proklorázzal kezelt; kontroll: vízzel kezelt; n.k.: patogénnel nem kolonizált Petri-csésze).....	70
37. ábra: A nem kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a dózistól függően	71
38. ábra: A kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a kezelések hatására	72
39. ábra: A kolonizált Petri-csészékben inkubált kaszatok csíranövényhossz eredményei a dózisok alapján.....	73
40. ábra: A <i>Macrophomina phaseolina</i> hatása a csíranövényhosszokra.....	74
41. ábra: Proklorázzal nem kezelt kaszaton megjelenő <i>M. phaseolina</i> micélium.....	75
42. ábra: Proklorázzal kezelt kaszat	75

43. ábra: A kezelések hatékonysága a kórokozóval szemben a harmadik héten a gyökérhossz és növénymagasság adatok alapján.....	76
44. ábra: A kezelések hatékonysága a 6. héten	78
45. ábra: A 0,6 l t ⁻¹ dózis okozta fitotoxikus tünet	78
46. ábra: Egy a 0,3 l t ⁻¹ dózissal kezelt egészséges napaforgó növény	78
47. ábra: Napraforgó bélszövetben képződött mikroszklerócium.....	79
48. ábra: A napraforgó szövet darabok inkubálása PDA táptalajon a 7. napon	79
49. ábra: A kezelések hatása a <i>M. phaseolina</i> fertőzöttség mértékére	80
50. ábra: A kezelések hatása a tányérátmérőkre.....	81
51. ábra: A fertőzés hatása a tányérátmérőkre.....	81
52. ábra: A kezelések hatékonysága az összkaszattömegre	82
53. ábra: A kezelések hatékonysága az ezerkaszattömegre.....	83

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A kísérletben használt <i>Trichoderma</i> fajok jellemzése.....	33
2. táblázat: Felhasznált hatóanyagok és koncentrációk 20 ml táptalajra vetítve.....	35
3. táblázat: A kórokozó jelenléte nem igazolható	39
4. táblázat: <i>M. phaseolina</i> mintavételi helyek Magyarországon és néhány környező, határainkon túli területen.	40
5. táblázat: A fertőzés százalékos mértéke a vizsgálat éveiben és a területeken természetelt elővetemények	47
6. táblázat: A fertőzöttség százalékos mértéke és a vegetációs időszakok csapadék adatai a vizsgált két évben (2019-2020) az érintett területeken	48
7. táblázat: A fertőzöttség százalékos mértéke és a vegetációs időszakok hőmérséklet adatai a vizsgált két évben (2019-2020) az érintett területeken.....	49
8. táblázat: A fertőzés hatása a napraforgó vizsgált paramétereire	51
9. táblázat: A mikroszkleróciumok átlagos átmérője	54
10. táblázat: NCBI azonosítók	55
11. táblázat: A kísérletben vizsgált fungicid hatóanyagok főbb jellemzői	63
12. táblázat: A kolonizált és nem kolonizált Petri-csészékben inkubált csíranövények mérete (mm) a kezelések függvényében.....	69