

SZAKDOLGOZAT

Andrási Brigitta

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Környezettudományi Intézet
Biológiai talajerő-gazdálkodási szakmérnök szakirányú
továbbképzési szak

Gyökér endofita mikrobák összehasonlító vizsgálata

Belső konzulens: Pacsutáné Dr. Biró Borbála
Professor Emerita

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet
Agrárkörnyezettani Tanszék

Készítette: Andrási Brigitta

Budapest

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célkitűzések.....	3
1. Irodalmi áttekintés.....	5
1.1. Endofita baktériumok jellemzése.....	5
1.1.1. Növénybe történő bejutásuk.....	6
1.1.2. Hatásuk a növényekre.....	7
1.2. Kezelések elméleti háttérének, előnyeinek ismertetése.....	8
1.2.1. Takarónövények.....	8
1.2.2. Trichoderma gombák.....	9
1.2.3. Szerves trágya.....	9
1.2.4. Mikrobiológiai trágya.....	10
1.2.5. Műtrágya.....	11
2. Alkalmazott módszerek (anyag és módszer).....	13
2.1. A kísérleti terület bemutatása.....	13
2.2. Tenyésztési módszer bemutatása.....	13
3. Eredmények és értékelésük.....	15
4. Összefoglalás.....	20
5. Irodalomjegyzék.....	22
6. Mellékletek.....	24
7. Köszönetnyilvánítás.....	25
8. Hallgatói nyilatkozat.....	26
9. Konzulensi nyilatkozat.....	27

Bevezetés és célkitűzések

Szakdolgozatom célja az endofita baktériumok szakirodalmi áttekintése, ezen kívül egy kísérlet bemutatásán keresztül a gyökér endofita mikrobák jelenlétének kimutatása, számszerűsítése, összehasonlítása.

Napjainkban egyre feltűnőbb az a tény, hogy a műtrágya árak folyamatosan növekvő tendenciát mutatnak, az ásványi eredetű műtrágyázás szabályozására egyre szigorodó korlátozásokat vezetnek be, illetve a műtrágya előállításához szükséges földgáz ára is folyamatosan növekszik. Emiatt egyik legfontosabb csoportja az endofita mikroorganizmusoknak a nitrogénkötő baktériumok. A Föld légkörének 78%-a nitrogén, ám a növények ezt önmagukban nem képesek megkötni. Ehhez szükség van különböző baktériumokra, mikroorganizmusokra, melyek a növényekkel együttműködnek. A növények nitrogén pótlására tehát fontos lehetőség lehet a levegőből történő nitrogén megkötés. Többféle baktérium létezik a nitrogén levegőből történő megkötésére: Első csoport a *szimbióta* baktériumok (*Rhizobium*, *Azorhizobium* stb.), melyek gümőket alkotnak a növényben, itt történik a nitrogén megkötés (pl. pillangós virágúak.) Második csoport a *nem-szimbióta* baktériumok (*Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azomonas*). Ez a csoport a talajban él, és ott kötik meg a légköri nitrogént, majd átalakítják anaerob körülmények között úgy, hogy a növény számára felvehetővé válják. A szimbióta és nem-szimbióta baktériumok a klasszikus nitrogén-körforgásban vesznek részt. Harmadik csoport az *endofita* baktériumok (*Herbaspirillum* stb.), amik a növény belsejébe bejutnak, a gyökérben vagy a földfelszín feletti növényi részekben szabadon mozognak, és biztosítják a nitrogén szolgáltatást.

Nagyon fontos tulajdonságuk a talajlakó élőlényeknek még, hogy biztosítják a növények életfeltételeit, indukálják a növényi növekedést, illetve védelmet nyújtanak a kórokozóktól. Ezen okok miatt kijelenthető, hogy a mezőgazdaságban használt kemikáliák és peszticidek fontos alternatívája is lehetnek. A baktériumok, algák, gombák nagyban befolyásolják a talaj tápanyagszolgáltató képességét. Ezt a képességét direkt és indirekt módon is érvényre tudják juttatni. A pozitív hatású mikrobák képesek hormontermelésre, aminek hatására a növény gyökérrendszere dúsabb és sűrűbb lesz, vagyis felületnövekedés történik. Az *azospirillum* baktériumok (nitrogénkötők) is ilyen hatást fejtenek ki, ezáltal intenzívebb víz és vízben oldott tápanyag felvételére képes a növény. Környezeti stressz hatására ezek

mikroorganizmusok képesek a növények belső szöveteibe jutni, így a növénygel közösen együttműködve hatékony védelmet tudnak biztosítani önmaguk számára. Ezt a tulajdonságát az endofita baktériumoknak a kármentesítés is hasznosítja (fitoremediáció). Nemcsak a kifejlett növénybe juthatnak be a talajból az endofita mikroorganizmusok, hanem már a magvakban, gombák spórájában is jelen lehetnek. Jótékony hatásuk közé sorolható, hogy antibiotikum termelésre képes szervezetek, tehát biocid hatást fejtenek ki (pl. actinobaktériumok –„sugárgombák”- sztreptomycin termelése. Képesek vaskelátot képezni, vagyis javul a növény vas felvevő képessége, így a növénypatogén szervezetek számára a talajban kevesebb vas marad.

1. Irodalmi áttekintés

1.1. Endofita baktériumok jellemzése

Azokat a gombákat és baktériumokat, amelyek a növénybe bejutnak, a növényi szövetben élőhelyet találnak maguknak és ott betegséget nem okozva, szimbiózisban élnek a növénygel, endofita szervezeteknek nevezzük. A legfontosabb és legtöbb számú csoport a növényi-növekedést-serkentő gyökérszóna-baktériumok (PGPR). A környezeti tényezők nagyban befolyásolják, hogy milyen típusú és milyen számú mikroorganizmus képes az adott helyen megélni. Létezik olyan, hogy a környezeti tényezőknek történő megfelelés olyan méreteket ölt, hogy a mikroorganizmus már csak a növénygel együtt lesz életképes, *obligát* kapcsolat, vagyis mindkét résztvevőnek megváltozik a genetikája. Létezik *fakultatív*, vagyis választható növényi-mikrobiális együttműködés, ez csak akkor alakul ki, ha a környezeti tényezők negatív irányba fordulnak. Így mindkét élőlény számára kivédhetővé válik a negatív környezeti körülmény. Megállapítható ebből, hogy az a mikrobiális élőlény éli túl ezeket a stressztényezőket, amik valamilyen formában megváltoznak. Amikor környezeti stressz éri a mikrobákat, a korábban szabadon élő fakultatív mikroorganizmusok a növény belsejébe próbálnak bejutni, amit a növény is segít, mert a szimbiózisuk által mindketten hatékonyabb védekezésre képesek. Abban rejlik pozitív hatásuk, hogy képesek termelni fitohormonokat, amelyek biostimulációra képesek, így segítségükkel nagyobb mennyiségű tápanyag válik felvehetővé. Képesek továbbá antibakteriális anyagokat, sziderofórokat előállítani, amelyekkel a fitopatogén anyagokat hatékonyan tudják megsemmisíteni (biokontroll). (BIRÓ és SZABÓ; Füstös, 2016)

„A túlélési stratégiák mikrobától mikrobáig (növénytől-növényig is) igen változatosak, így a legkülönbözőbb endofita életterekben (szférákban) is megtelepednek: mag - spermoszféra, gyökér – rizoszféra, levél – filloszféra. Ráadásul még a mikrobán belül, a mikroszkópikus gombák spóráiban is találhatunk „segítőnek” nevezett (helper) baktériumokat (akár 200-at is). A növények 80%-ával kölcsönösen hasznos együttműködést (szimbiózist) létrehozni képes arbuszkuláris mikorrhiza gombák hatókörzete a mikorizoszféra, ami szintén több, mint csak a gomba nélküli gyökér. A segítő, PGPR mikroorganizmusok hatása a növényre általában pozitív hatású (növénytáplálás, növényvédelem és szervesanyag-bontás, ami megnyilvánulhat biológiai nitrogén-kötés, foszfor-oldás, a vas-felvétel javulása, biokontroll hatás és gyors

szaporodóképesség, vagy enzimek termelődése által is). Semleges hatású a növény-mikroba kapcsolat, ha élettani, genetikai elváltozás nem történik ugyan, de a felek mégis egy „asztaltársaságot” alkotnak. Az ilyen, egymás társaságát elviselő, de egymást nem befolyásoló kapcsolat a kommenzalizmus, ami közvetve hasznossá is válhat, amikor a mikrobák által lebontott és kisebb molekulájú anyagokat már a növények is fel tudnák venni, ha a nitrogén vegyületekért történő konkurencia a növények és mikrobák között nem idézné elő az ún. pentozán hatást nitrogén-hiányos, szűk C:N arányú (13) talajban.” (BIRÓ és SZABÓ)

Azok a mikrobák, amelyek a növény belsejében élnek, előnyösebb helyzetben vannak, mint azok amik a talajban szabadon élve, vagy amik a rizoszférában találhatók. Ha negatív környezeti stressz éri őket, vagy az alakul ki (pl. pH megváltozása, levegőhiány, kevés szerves anyag, magas sótartalom, ragadozó szervezet), akkor ezeket ki tudják védeni. Serkentő hatásuk intenzívebbé válik, így erősítve a növényt is. (BIRÓ és SZABÓ)

Azok a baktériumok, melyek az *Azospirillum* nemzetségébe tartoznak, jelentős befolyással bíró oltóanyagok lehetnek az egyszikű takarmánynövények, fűfélék, gabonák esetében. Sok pozitív tulajdonsággal rendelkeznek, alkalmazkodni tudnak a rizoszféra kompetíciós környezetéhez, emellett növénynövekedést serkentő hatásuk is ismert. Az *Azospirillum*-nak két faja különböztethető meg: az *Azospirillum lipoferum*, melyek leginkább pl. a kukorica gyökérkörnyezetében vannak jelen, és az *Azospirillum brasilense*, amik főként pl. búza, rizs találhatók meg. (BIRÓ, 1992)

1.1.1. Növénybe történő bejutásuk

A mikroorganizmusok bejutása megvalósulhat a növény föld alatti és föld feletti hajtásain keresztül egyaránt, de a legelterjedtebb formája a migrációjuknak a gyökereken keresztül történő bejutás. Ennek oka, hogy a legtöbb mikroorganizmus a rhizoszférában található. Fontos megemlíteni, hogy a legtöbb endofita baktérium a gyökerekben található meg. A talajban élő baktériumok, miután benépesítették a rhizoszférát és a rhizoplánt, be tudna hatolni a gyökerek belsejébe, majd elszaporodnak többnyire $10^5 - 10^7$ TKE/gramm mennyiségben amihez szükségük van különleges tulajdonságokra, mint például flagellumok, sejtfaldegradáló enzimekre, méregtelenítő mechanizmusokra, szilárd felületen történő mozgás stb). Észrevették, hogy a plazmidok kifejezetten kedvelik a többféle tápanyagban gazdag talaj-növény felületet, itt tudnak lefolyni a plazmidok segítségével a közvetített horizontális géntranszfer folyamatok, amik segítik a baktériumok alkalmazkodását. Ez fontos folyamat lehet a rhizoszférában élő baktériumok endofita mivoltának létrejöttében.

A gyökereken keresztül történő kolonizálás során, a bejutás nem mindig aktív mechanizmus által valósul meg, ebből az következik, hogy bármelyik rhizobaktérium nevezhető endofitának bizonyos életszakaszában. A baktériumok bejuthatnak aktív/passzív módon is a gyökérbe. Passzív behatolási pont lehet egy új gyökéren megjelenő repedés, illetve gyökércsúcsok. Okozhatják rovarok okozta sérülések, káros mikroorganizmusok. Aktív penetrációval bejuthatnak pl. a gümöket képző baktériumok. Ezesetben a hajszálgyökereken keresztül jutnak be a gyökérszövetbe, majd serkentik a speciális növényi részek képződését. A flagellumok, pílusok, mobilitási képesség, sejtfaldegradáló enzimek kiválasztása mind-mind befolyásolják a növényen belüli mozgást illetve az aktív penetrációt. Amennyiben sikeresen bejutott a baktérium a cortexbe, a gyökér elsődleges kérgébe, eljutnak az endodermisz sejtrétegbe, amin keresztül csak igen kevés endofita baktérium képes túljutni, mivel kevesen tudnak sejtfaldegradáló enzimek kiválasztására. Megemlítendő, hogy néhány mikroorganizmus passzív módon is bejuthat, mert pl. káros rovar hatására seb keletkezhet, az endodermisz rétege megsérül, így nincs akadálya a hengerbe történő bejutásnak. A henger után a faedényekbe érnek el, ahonnan már szabaddá válik az út a növény bármely szervébe. Azok a mikrobák, amik aktív penetrációval jutottak be a gyökérbe, serkentik a növény védelmi mechanizmusát, pl. sejtfalát megerősíti, gumit termelhet a kéregben. Ugyanakkor endofita baktériumok esetében csak néhány védelmi mechanizmus figyelhető meg.

Az endofiták kétféle módon juthatnak el a gyökérből: a sejtközötti tereken keresztül, mely tápanyagban gazdag, illetve a faedények lumenjén keresztül. A faedények nyitott vezetékek, és itt könnyebben transzportálódhatnak, ezért a faedények lumenjén keresztüli vándorlás a jellemzőbb. (FÜSTÖS, 2016)

1.1.2. Hatásuk a növényekre

A baktériumok, ha nagy mennyiségben vannak jelen a növényben (HARDOIM et al., 2008), a szélsőséges környezeti hatásokkal (hőmérséklet, ultraibolya sugárzás stb.) szemben ellenállóbbak lehetnek (LODEWYCKX et al., 2002), a növények növekedésének fokozása történhet (HARDOIM et al., 2008).

Az endoszférában a baktériumok képesek az etilén szintjének szabályozására, ami nagyon fontos a növény viselkedésének befolyásolásában, mivel akármilyen hatás, ami befolyásolja ezen molekula mennyiségét, fontos hatással van a baktériumokra azok túlélésének szempontjából. Lényeges tehát, hogy a baktérium tudja-e befolyásolni a növény etilén

koncentrációját, és ezzel pozitív módon befolyásolni a saját életmódját (Hardoim et al., 2008).

A növény szempontjából nézve megállapítható, hogy az endofiták nagy befolyással bírhatnak a növény növekedésére, egészségére nézve. A növény tehát nyomon követheti a kolonizáció kezdeti szakaszát, sőt bele is avatkozhat, attól függően, hogy számára hasznos-e az adott baktérium (HARDOIM et al., 2008)

Az endofita mikroorganizmusok kétféle csoportba sorolhatók, a kedvező hatásuk kifejtése szempontjából: a növények növekedését direkt és indirekt módon befolyásoló biokontroll baktériumokra (TAURIAN et al., 2012)

1.2. Kezelések elméleti hátterének, előnyeinek ismertetése

1.2.1. Takarónövények

A takarónövények nagyon fontos szerepet töltenek be a talajmegújító gazdálkodás szempontjából. A mezőgazdaság megjelenésétől kezdve a talajművelés alapvető célja volt, hogy a talajszerkezetet lazábbá, morzsalékosabbá, levegővel telítettebbé tegyék. Ezt a cél szolgálja a szántás, bár ennek ma már egyre több negatív hatását tapasztaljuk (gyommagok folyamatos beszántása, eketalp betegség, morzsás szerkezet felaprítása, mivel nincs aggregátum képződés, így szárazság hatására szétesik a talaj, porosodik stb). (KELLER et al., 2019). A növények folyamatos jelenléte elnyomja a gyomokat, serkenti a talajbiológiát, fellazítja a talajt. A növényt tekinthetjük egy intelligens rendszernek is, mivel a növények az etilén diffúziójából érzik, hogy ha a gyökerek tömör réteghez érkeztek. Ekkor azon a helyen a növény leállítja a gyökérnövekedést és másik gyökér részen hasznosítja ezen képességét. (PANDEY et al., 2021). Ezt hivatott felváltani, kiegészíteni a talajtakaró növények alkalmazása. Segítségükkel a mikorrhiza hálózat fenntartható, ami a konvencionális talajforgatással folyamatosan megszakad. Jelentősége abban rejlik még, hogy javítják a talaj tápanyag-körforgását, az eróziót csökkentik, és tápanyagot biztosítanak a talajban élő szervezeteknek, virágjukkal a rovarokat vonzzák. Azok a talajok, amik parlagon vannak, sokkal kitettebbek a környezeti hatásoknak, és a talajélet sem olyan aktív. A takarónövények azért is hasznosak, mert lazítják a talajt a gyökérzetük által, a vízháztartás javul, elnyomja a gyomokat, illetve takarmánycént is hasznosíthatóak (pl. lóhere, borsó, bab szalmája stb.). A

kiválasztásánál több szempontot figyelembe kell venni: a talaj típusát, kötöttségét, pH-ját, szervesanyag- tartalmát, elő- vagy utóveteményként szeretnénk hasznosítani, milyen területet szeretnénk betakarni (köztes vetemény, szántó föld), a felhasználhatóságot (takarmány vagy emberi étkezésre szánt). Nitrogén megkötésre a bab, borsó, lóhere alkalmas, rovarokat vonzani a bűdöske, kapor, facélia, talajfertőtlenítésre a repce, mustár, körömvirág alkalmas, tápanyagszolgáltatásra a katáng, cickafark, csalán, facélia, bükköny, talajlazításra a pitypang, jégcsapretek, mustár stb. alkalmas.

1.2.2. Trichoderma gombák

A *Trichoderma asperellum* T1 törzse hiperparazita gomba, melyet biogazdálkodók használnak elsősorban, de a konvencionális mezőgazdaságban is terjed a használatuk. A hazai talajokban is előfordulnak, melyet izolálva készítményt hoztak létre a segítségével. Nagyon gyorsan történik a növény hajtásgyökerének kolonizációja, ezáltal nem hagy helyet a talajban lévő fertőző gombáknak. Tehát a gyökér kolonizációval védi a növényt a kórokozóktól. Fontos tulajdonsága még, hogy antibiotikumot termel, a növény növekedését serkentő hormonokat termel, segíti az egészséges rhizoszféra kialakítását, a fotoszintetikus aktivitása is javul a növénynek. Cellulóz bontó hatással is rendelkezik, vagyis így felvehetővé válnak bizonyos makroelemek és a lebontó szervezeteket segíti. (BALOGH-KATONA, 2023)

1.2.3. Szerves trágya

A legrégebbi módszer a növényi tápanyagok visszajuttatásának a szerves trágyázás, mely alatt az állati eredetű trágyákat értjük. Kedvező hatásuk abban mutatkozik, hogy humuszanyagokat tartalmaznak, így kedvező hatással vannak a talaj szerkezetére. Ez a jobb víz-, levegőgazdálkodásban mutatkozik meg, illetve a talaj hőháztartására is jótékonyan hat. Fontos az a tény is, hogy a bomlás során jelentős mennyiségű tápanyagfelszabadulás is történik. Azonban van kvantitatív különbség a szerves trágyák között is: függ a takarmányozástól, állattól, almozástól, bomlás állapotától is. Legelterjedtebben az istállótrágyákat alkalmazzák (ló-, szarvasmarhatrágya), mert gyorsan lebomlanak, a talaj szerkezetet javítják, nagy tápanyagmennyiséget biztosítanak. Létezik még ún. karámtrágya, mely jelentős nitrogén tartalommal rendelkezik. Gyorsan elbomlik és melegedik, ám hátránya, hogy nagyon gyomosít. A sertés trágya nitrogén-, káliumtartalma

nagyon magas, viszont a talajszerkezetre nem olyan hatékony, mint az istállótrágya. Mivel tápanyagtartalma magas, ezért perzselő hatását is meg kell említeni. A baromfitrágyák szintén perzselnek.

Léteznek növényi komposztok is, melyeket kis üzemekben illetve saját célra használnak általában. Kiválóan javítják a talajszerkezetet, közepes tápanyagtartalommal rendelkeznek, bár ez függ a komposztált növényektől is. A trágyázás történhet tőzeggel, szalmával, lombfölddel, faforgáccsal és fűrészporral, ez elég speciális eset. Tápanyagot csak nagyon minimálisan tudnak szolgáltatni, de a talajszerkezetet kiválóan javítják. Mivel növények komposztálásáról van szó ezesetben, figyelembe kell venni a *pentozán* hatást: a nagy cellulóztartalommal rendelkező anyagok elbomlásakor a nitrogént az elbontást végző baktériumok elhasználják a saját szaporodásukra, így a növénynek nem marad elegendő nitrogén. Ezért szerves trágyával együtt, vagy nitrogénműtrágyával együtt érdemes használni. (AGROINFORM, 2021)

1.2.4. Mikrobiológiai trágya

A mikroorganizmusok használata a mezőgazdaságban kb. 60 éve jelent meg világviszonylatban. Ezzel javíthatóvá vált a növények stressztűrő képessége. (SHEN, 1997). Magyarországon a hatvanas években jelentek meg azok a „baktériumtrágyák”, amiket a mezőgazdaságban használtak. Ekkor még azok a készítmények terjedtek el széles körben, amelyek egy törzset tartalmaztak (MANNINGER-SZEGI, 1963; HAMATOVÁ és HLAMÁCKOVÁ, 1963). Szintén ettől az évtizedtől kezdve tekinthetjük a vetőmagok baktérium- (Rhizobium, Azotobacter, Azospirillum sp.), gombatörzsekkel (Trichoderma, Aspergillus sp.) történő kezelését. Sikeresek voltak ezek az eljárások, mivel talajkémiai és mikrobiológia vizsgálatok is tanúbizonyságot tettek erről, a termesztett növények növekedése, szárazanyag-falhalmozódása és beltartalmi értékei is pozitív képet mutattak (HATOVÁ-HLAMÁCKOVÁ, 1963). A nyolcvanas években a baktériumokat tartalmazó készítményeket környezetkímélőnek tekintették, amik pozitív befolyással vannak a talajoltás eredményességére, megfelelő tápelem-ellátottság mellett (KÖVES-PÉCHY et. al., 1989). Ezek a termékek a környezettudatos tápanyag-utánpótlás megoldása lehet. A baktériumtrágyák alkalmazásával a talaj mikrobiológiai struktúrájára gyakorolt pozitív hatást, talajszerkezet javulást, a tápelemek felvehetőségének megkönnyítését várhatjuk (SZAKÁL, 1999; SOLTI, 2004; FILEP, 2008; KISMÁNYOKY, 2009). Manapság inkább azok az oltóanyagok az elterjedtebbek, amelyek a baktériumokon kívül, gombákat, algákat

is fellelhetünk. Együttesen így már növénykondicionálásra, vitalizálásra, növényvédelemre is képesek. A növényvédelmi célú használata kiemelt jelentőséggel bírhat a biológiai gazdálkodásoknál, ahol ezen oltóanyagokkal a növényvédő szerek kiválthatóvá válnak (DARVAS et al, 2008).

Azok a mikroorganizmusok, amelyek a növényi maradványokon elszaporodnak, gyorsítják annak elbomlását, így elősegítik a tápelemek ásványosítását és felvehetőségét. Nagyon fontos a szerves anyagok szén-nitrogén aránya, amely igen jelentősen befolyásolja a szerves anyagok mineralizációját és a talajban lévő felvehető nitrogén mennyiségét. (BUZÁS, 1987). A mikroorganizmusoknak a tápelem forgalomban igen jelentős szerepük van (Zavarzin, 2008).

1.2.5. Műtrágya

Általánosan elmondható, hogy a Föld megművelhető talajain intenzív mezőgazdaság történik. Ennek hatására a legnagyobb mennyiségben a nitrogén-, foszfor-, káliumvegyületek tűnnek el a talajból. Ahhoz, hogy az emberiség élelmezéséhez szükséges mennyiségű élelmiszert elő tudjunk állítani, szükséges, hogy ezeket pótoljuk a talajban, különben a talaj kimerül, nem fog kellő mennyiségű növény fejlődni, vagy rossz minőségű lesz. Ennek orvoslására legelterjedtebben, kétféle megoldás létezik: természetes, szerves trágyával (melyet a 2.2.3. pontban részletezek) illetve mesterséges kemikáliákkal. Tehát a műtrágyák olyan szervetlen vegyületek, amelyek a talaj eredendően jelen lévő szervesanyag tartalmát pótolni képes. A műtrágya használatnak több célja van: a talaj termékenységének megőrzése, gátló anyagok lebontása, szerves anyagok lebontása, pótlása, gyökerek differenciálása, a talajszerkezet javítása, stb.

Halmazállapot szerint megkülönböztetünk szilárd (granulátum vagy por), folyékony, szuszpenziós műtrágyákat. Összetétel szerint léteznek egykomponensű (nitrogén, foszfor, kálium van csak benne) vagy összetett műtrágyák (N,P,K keveréke). A műtrágya kijuttatási ideje alapján létezik alap-, starter-, fej-, lombtrágya. A nitrogén műtrágyák közé soroljuk a chilei salétrom, pétisó, karbamid, ammónium-szulfát, mészsálétrom. A nitrogént ammónium és nitrát formájában veszi fel a növény. Legismertebb fajtája az ammónium-nitrát tartalmú műtrágya, ami tűzveszélyes, ezért pétisóval keverik. Hátrányuk közé tartozik, hogy a talajt savanyítják. A nitrogén hiány jele, hogy a növény sárgás színűvé válik, a termés mennyisége csökken. Foszfortrágyák közé tartozik a szuperfoszfát, kalcium-foszfát, melyek szintén savanyítják a talajt, sajnos sokszor nehézfémekkel szennyezettek. Foszforhiány jele a gyökér

gyenge fejlődése, kisebb magvak, virágzat. Kálium trágyák legismertebb fajtája a kálium-klorid, kálium-szulfát. Ezenkívül léteznek még mikroelemtrágyák, mésztrágyák. A mésztrágyák jelentősége napjainkban megnőtt, ezért a N, P, K mellett a mész vált az egyik legfontosabb pótló anyaggá. Szerepet játszik a talaj kémhatásának kialakításában, puffer képesség növelésében, talaj morzsás szerkezetének növelésében, enzimaktivitásban, sejtmembránok átjárhatóságában. Tehát hármas célja van: talajszerkezet javítás, Ca pótlása a növénynek, a talaj savanyúságának mérséklése. A talaj pH alapján háromféle meszezés történhet: melioratív (pH 4), javító (pH 5), fenntartó (pH 6) meszezés.

Természetes anyagokkal is történhet a műtrágyázás: alginittal, mészkővel, dolomitporral, lápi mészsizappal. Az alginit alga biomasszából, bazalttufából és mészből áll, mely 3-4 millió évvel ezelőtt keletkezett. Magas a humusz-, agyag-, mésztartalma. Laza szerkezetű, földszerű, mikro-, és makroelemekben gazdag anyag. Talajjavító és növényvédő hatása miatt alkalmazzák. Az örölt mészkőpor talajjavító hatása abban rejlik, hogy javítja a pH-t. (Hartman, 2008)

2. Alkalmazott módszerek (anyag és módszer)

2.1. A kísérleti terület bemutatása

A kísérlet terepi részét Papdi Enikő PhD hallgató és az Agrárkörnyezettani Tanszék munkatársai végezték el. Ebből a kísérletből származó mintákat használtam fel a laboratóriumi vizsgálatokhoz. A terepi kísérlet fűtetlen, 128.5 m² alapterületű fóliasátorban történt, ahol 33 m² méretű parcellák kerültek kialakításra. A parcellákon meszes és gyengén humuszos homoktalaj található, aminek szerves anyag tartalma 0,75%, pH-ja 7,44. A növények naponta a tenyészidőszakban 6,5 l/m² mennyiségű vizet kaptak, esőszerű öntözéssel. A kísérlet során takarónövények is felhasználásra kerültek, ennek keveréke takarmányborsó (*Pisum sativum* subsp. *arvense*), bükköny (*Vicia* sp.) és zab (*Avena sativa*) volt. A tesztnövény az étkezési paprika Ami F1 (*Capsicum annum* L., 'Ami F1') típusa volt.

2.2. Tenyésztési módszer bemutatása

Laboratóriumi kísérletem során tenyésztési módszert alkalmaztam az endofita mikroorganizmusok kimutatására. Az eljárás során a lefertőtlenített növényi részeket puffer oldatban manuálisan, vagyis mozsárban homogenizáljuk, majd hígítási sort készítve belőle, ezekből megtörténik a szélesztés a táptalajra. A telepek számlálása megfelelő körülmények között történő inkubálás után történik meg. A keletkezett telepek számából következtethetünk a kezdeti csíraszámra. Nyolc darab gyökérmintából dolgoztam, mindegyik gyökér különböző kezeléseken esett át: trichoderma + takarónövény, istállótrágya + takarónövény, Slavol + takarónövény, Pellet + takarónövény, takarónövény, műtrágya, istállótrágya (kétszeres kezelés), istállótrágya. Minden mintából kimértem 1,0 g-ot, megmostam a homokszemcséktől, majd műanyag üvegbe tettem. Annak érdekében, hogy biztosítsam a növényi felületek fertőtlenítését, ráöntöttem 0,3%-ra hígított sósavat, majd tíz percig állni hagytam. Erre azért van szükség, mert a növények felületén lévő epifita és más mikrobák megjelenhetnek. A sósav eliminálásának érdekében négy fázisban lemostam, az 5. mosás közvetlen mérés előtt történt. Ezt követően 1-1 g-ot bemértem, amelyet

dörzsmozsárba helyeztem. Öntöttem rá fél kanál kvarchomokot, 9 ml fiziológias sóoldatot, majd pépet készítettem belőle erős dörzsölés után. 1 ml-t kipipettáztunk, táptalajra öntöttük. Ezt követően megtörtént a szélesztés.



2. Kép Paprika kiválogatott gyökerének tisztítása sósavban

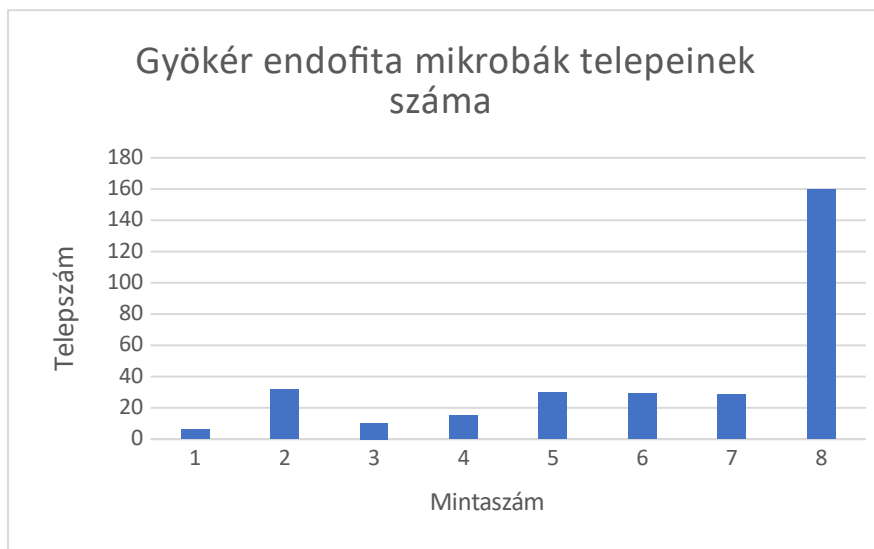


1. Kép Kvarchomok adagolása az 1 g gyökérhez dörzsölés előtt



3. Kép Kitenyésztett endofita baktériumok

Eredmények és értékelésük



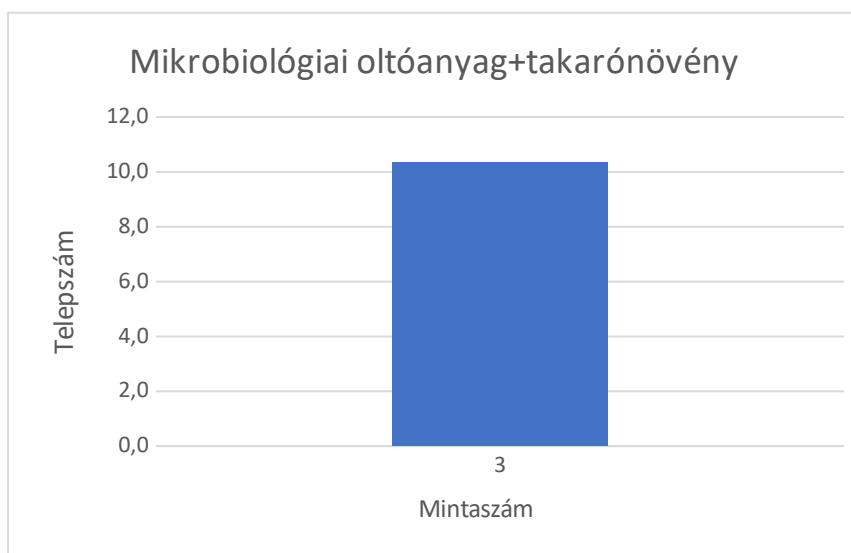
1. Ábra Endofita mikrobák telepeinek száma összegezve



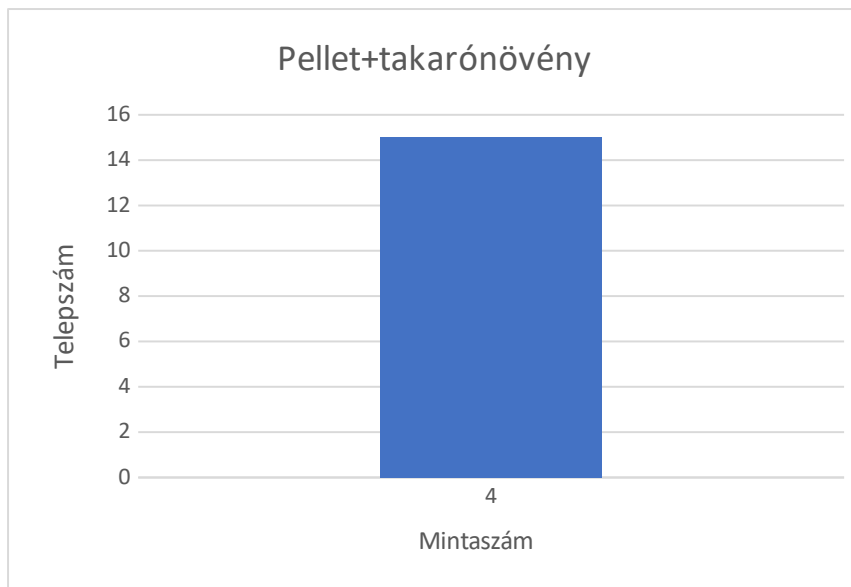
2. Ábra 1. minta telepszáma



3. Ábra 2. minta telepszáma



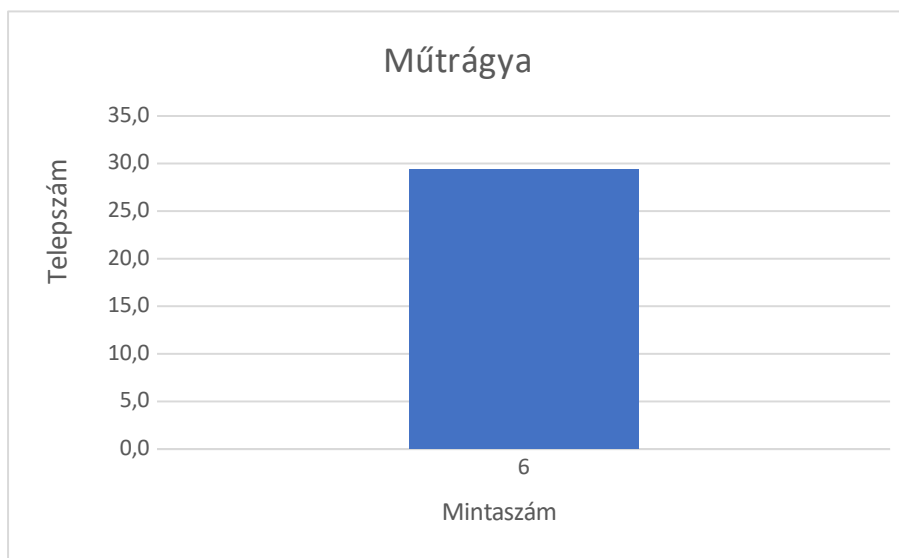
4. Ábra 3. minta telepszáma



5. Ábra 4. minta telepszáma



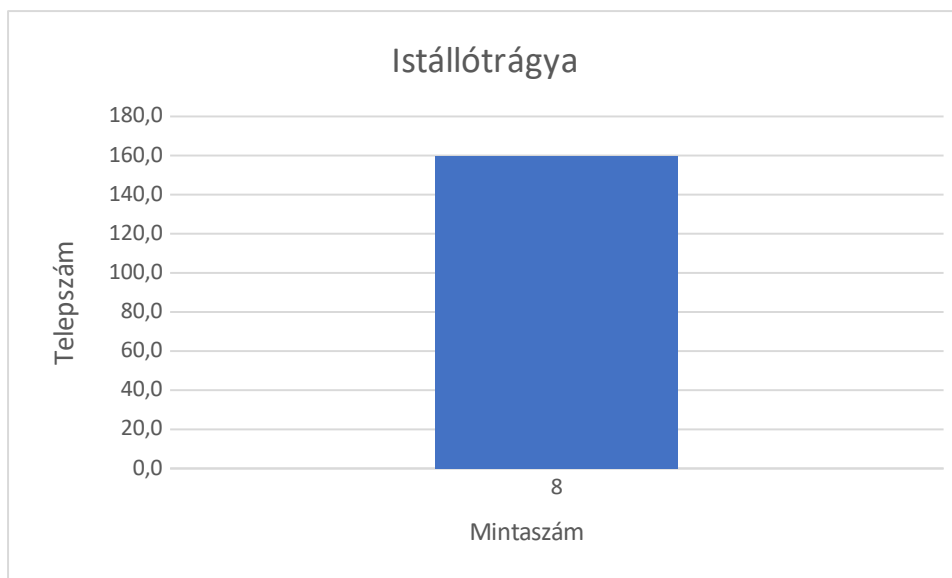
6. Ábra 5. minta telepszáma



7. Ábra 6. minta telepszáma



8. Ábra 7. minta telepszáma



9. Ábra 8. minta telepszáma

Mint az 1. számú ábrán látszik, melyen a nyolc gyökérminta eredményeit ábrázoltam, a legnagyobb telepszámot, az csak istállótrágyával, egyszer kezelt minta adta. Eredetileg 24 mintával dolgoztunk, mindegyik kezelés mintájából három tenyészetet készítettünk, mely három eredményt átlagoltam. Erre azért volt szükség, mert amint az 1. ábrán és 1. táblázatban látszik, nagy a különbség ugyanazon kezelés 3 mintáján belül. Ez azért fordulhat elő, mert a gyökér mintákat nem könnyű azonos módon széttronsolni, bagy különbség lehet növény-növény is. Volt növény amelyiknek nagyobb, erősebb gyökere volt, másiknak kisebb. Ezért döntöttem az átlagolás mellett.

Az első kezelés (2. ábra) során Trichoderma gomba hozzáadását és takarmányborsó, bükköny, zab keverékű takarónövényt alkalmaztunk. Itt kaptuk a legkisebb számú endofita telepet, nevezetesen 6 telep, vagyis 6000 mikroorganizmust. A második kezelés (3. ábra) alkalmával istállótrágya és szintén a takarmányborsó, bükköny, zab keverékű takarónövényt használtunk. Itt már 31,7 telepszámot, vagyis 31700 mikroorganizmust kaptunk. A harmadik kezelés (4. ábra) mikrobiológiai oltóanyag és a fent említett takarónövény alkalmazásából állt. Itt 10,3 telepet számoltunk, ami 10300 mikrobát jelent. A negyedik kezelés (5. ábra) pellet + takarónövényből állt. Ez 15 telepből állt, azaz 15000 mikroba. Az ötödik kezelés (6. ábra) csak a takarmányborsó, bükköny, zab keverékű takarónövény alkalmazásából állt, melynél 29,7 telepet, 29700 mikrobát kaptunk. A hatodik kezelés (7. ábra) folyamán műtrágyát használtunk, mely segítségével 29,3 telepet, 29300 mikrobát számoltunk. A hetedik kezelés (8. ábra) során istállótrágyát használtunk, de kétszer kijuttatva, így 28,3 telepet, 28300 mikroorganizmust kaptunk. A nyolcadik kezelés (9. ábra) során szintén istállótrágyát alkalmaztunk, de csak egyszer kijuttatva, mely által a legmagasabb, 159,7 telepet, 159700 mikrobát kaptunk.

Érdekes azonban összevetni a 2., 5., 6., 7. kísérletet, mert itt nagyon hasonló eredmények születtek. Közel azonos eredményt kaptunk az 5. és 6. minta összehasonlításával, takarónövénnyel több mikroorganizmus keletkezik, mint műtrágya használatával, tehát megfontolandó alternatívája lehet a takarónövény a műtrágyának. Egymáshoz hasonló eredményt kaptunk az 5. és 7. minta összevetésekor, takarónövény - kétszer kijuttatott istállótrágya esetében, bár itt is a takarónövénnyes kezeléssel keletkezett több mikroba. Ha a 2. és 7. kezelést nézzük, kijelenthető, hogy érdekesebb egyszer kijuttatni az istállótrágyát és mellé takarónövényt is alkalmazni, mivel ez segítette elő a második legtöbb baktérium kifejlődését.

Megállapítható, hogy a legsikeresebb az egyszer kijuttatott istállótrágya volt. Több, mint 5,5-szer több endofita baktériumot tudtunk kitenyészteni, mint a kétszer alkalmazott istállótrágya esetében. Vagyis ha a talaj endofita baktériumainak számát szeretnénk növelni meszes és gyengén humuszos homoktalajon, akkor az egyszer kijuttatott istállótrágyát érdemes alkalmazni. Összességében elmondható, hogy a kísérlet sikeres volt, mert a minták 63%-a 20000 fölötti baktériumszámot produkált.

3. Összefoglalás

A Föld légkörének 78%-a nitrogén, ám a növények ezt önmagukban nem képesek megkötni. Ehhez szükség van különböző baktériumokra, mikroorganizmusokra, melyek a növényekkel együttműködnek. A növények nitrogén pótlására tehát fontos lehetőség lehet a levegőből történő nitrogén megkötés. Többféle baktérium létezik a nitrogén levegőből történő megkötésére: Első csoport a *szimbionta* baktériumok, melyek gümőket alkotnak a növényben, itt történik a nitrogén megkötés (pl. pillangós virágúak.) Második csoport a *nem-szimbionta* baktériumok. Ez a csoport a talajban él, és ott kötik meg a légköri nitrogént, majd átalakítják anaerob körülmények között úgy, hogy a növény számára felvehetővé válják. A szimbionta és nem-szimbionta baktériumok a klasszikus nitrogén-körforgásban vesznek részt. Harmadik csoport az *endofita* baktériumok, amik a növény belsejébe bejutnak, a gyökérben vagy a földfelszín feletti növényi részekben szabadon mozognak, és biztosítják a nitrogén szolgáltatást. A mezőgazdaságban használt kemikáliák és peszticidek fontos alternatívája is lehetnek. A pozitív hatású mikrobák képesek hormontermelésre, aminek hatására a növény gyökérrendszere dúsabb és sűrűbb lesz, vagyis felületnövekedés történik. Környezeti stressz hatására ezek mikroorganizmusok képesek a növények belső szöveteibe jutni, így a növényvel közösen együttműködve hatékony védelmet tudnak biztosítani önmaguk számára. Ezt a tulajdonságát az endofita baktériumoknak a kármentesítés is hasznosítja (fitoremediáció). Abban rejlik még pozitív hatásuk, hogy képesek termelni fitohormonokat, amelyek biostimulációra képesek, így segítségével nagyobb mennyiségű tápanyag válik felvehetővé. Képesek továbbá antibakteriális anyagokat, sziderofórokat előállítani, amelyekkel a fitopatogén anyagokat hatékonyan tudják megsemmisíteni (biokontroll). A mikroorganizmusok bejutása megvalósulhat a növény föld alatti és föld feletti hajtásain keresztül egyaránt, de a legelterjedtebb formája a migrációjuknak a gyökereken keresztül történő bejutás. Ennek oka, hogy a legtöbb mikroorganizmus a rhizoszférában található. Az endofiták kétféle módon juthatnak el a gyökérből: a sejtközötti tereken keresztül, mely tápanyagban gazdag, illetve a faedények lumenjén keresztül. A faedények nyitott vezetékek, és itt könnyebben transzportálódhatnak, ezért a faedények lumenjén keresztüli vándorlás a jellemzőbb. A növény nyomon követheti a kolonizáció kezdeti szakaszát, sőt bele is avatkozhat, attól függően, hogy számára hasznos-e az adott baktérium. A takarónövények nagyon fontos szerepet töltenek be, a növények folyamatos jelenléte elnyomja a gyomokat, serkenti a talajbiológiát, fellazítja a

talajt. Segítségükkel a mikorrhiza hálózat fenntartható. Jelentősége abban rejlik még, hogy javítják a talaj tápanyag-körforgását, az eróziót csökkentik, és tápanyagot biztosítanak a talajban élő szervezeteknek, virágjukkal a rovarokat vonzzák. A Trichoderma gombák által nagyon gyorsan történik a növény hajszálgökeének kolonizációja, ezáltal nem hagy helyet a talajban lévő fertőző gombáknak. Tehát a gyökér kolonizációval védi a növényt a kórokozóktól. Fontos tulajdonsága még, hogy antibiotikumot termel, a növény növekedését serkentő hormonokat termel, segíti az egészséges rhizoszféra kialakítását. A szervesanyagok kedvező hatása abban mutatkozik, hogy humuszanyagokat tartalmaznak, így kedvező hatással vannak a talaj szerkezetére. Ez a jobb víz-, levegőgazdálkodásban mutatkozik meg, illetve a talaj hőháztartására is jótékonyan hat. A baktériumtrágyák alkalmazásával a talaj mikrobiológiai struktúrájára gyakorolt pozitív hatást, talajszerkezet javulást, a tápelemek felvehetőségének megkönnyítését várhatjuk. A műtrágyák olyan szervesanyagok, amelyek a talaj eredendően jelen lévő szervesanyag tartalmát pótolni képesek. A műtrágya használatnak több célja van: a talaj termékenységének megőrzése, gátló anyagok lebontása, szerves anyagok lebontása, pótlása, gyökerek differenciálása, a talajszerkezet javítása.

Laboratóriumi kísérletem során tenyésztési módszert alkalmaztam az endofita mikroorganizmusok kimutatására. Nyolc darab gyökérmintából dolgoztam, mindegyik gyökér különböző kezeléseken esett át. Megállapítható, hogy a legsikeresebb az egyszer kijuttatott istállótrágya volt. Több, mint 5,5-szer több endofita baktériumot tudtunk kitenyésztetni, mint a kétszer alkalmazott istállótrágya esetében. Vagyis ha a talaj endofita baktériumainak számát szeretnénk növelni meszes és gyengén humuszos homoktalajon, akkor az egyszer kijuttatott istállótrágyát érdemes alkalmazni. Összességében elmondható, hogy a kísérlet sikeres volt, mert a minták 63%-a 20000 fölötti baktériumszámot produkált.

4. Irodalomjegyzék

- BALOGH-KATONA KÁRMEN (2023): Trifender Pro helyett használjunk bátran a Trifender WP-t! Vegyszermentes Kert, 2023. augusztus 03. https://vegyszermenteskert.hu/trifender_trichoderma (Utolsó letöltés: 2023.11.12.)
- BIRO, B., SZABÓ, I.: A növénybelső mikroorganizmusai és a növény-mikroba túlélési stratégiák, Agroinform
- BIRO, B. (1992): Nitrogénkötő, növényi növekedést serkentő Azospirillum baktériumok. Agrokémia és talajtan Tom.41. No. 1-2., 139-144
- BUZÁS, I. (1987): Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- COMPANT, S., CLÉMENT, C., SESSITSCH, A. (2010): Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. Soil Biology and Biochemistry, 42, 669-678.
- DARVAS, B. (szerk.) – Polgár A. L. – Schwarczinger I. – Turóczi Gy. (2008): A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon. MTA NKI, Budapest, ISBN 978-963-87178-2-5. online: <http://mek.oszk.hu/09900/09969/html/>
- FILEP, T. (2008): Az oldott szervesanyag-tartalom (DOM) és a talajtulajdonságok összefüggése. Agrokémia és Talajtan, 57. (1): 37-46.
- FÜSTÖS, Z. (2016): Étkezési paprika (*Capiscum Annuum* L. Var. *Grossum*) tenyészthető endofita baktériumainak biodiverzitása és kolonizációjuk modellezése. SZIE Élelmiszertudományi Doktori Iskola, Budapest
- HAMATOVÁ, M. – HLAMÁCKOVÁ, E., (1963): A „Nitrazon” baktériumos oltóanyag előállítása és pillangós növényeknél való alkalmazása a Csehszlovák Szocialista Köztársaságban. Agrokémia és Talajtan Tom 12. (1963) No. 4. 661-666.
- HARDOIM, P. R., VAN OVERBEEK, L. S., ELSAS, J. D. (2008): Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. Trends Microbiol, 16, 463-71.
- HARTMAN, M. (2008): Műtrágyázás. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest
- KELLER, T., BANERJEE, S., WALDER, F., BÜCHLI, L., MEYER, M., HELD, A. Y., GATTINGER, A., CHARLES, R. & VAN DER HEIJDEN, M. G. A. (2019): Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. The ISME Journal 13, 1722-1736
- KISMÁNYOKY, T. (2009): Az őszi búza NPK mű- és szerves-trágyázásának vizsgálata tartamkísérletekben, gabona vetésforgóban. Növénytermelés, 58. 59-73.

- KÖVES-PÉCHY, K., et al (1989): A *Rhizobium* oltás, mint környezetkímélő technológiai eljárás. Agrokémi és Talajtan. 38. 235-238.
- LODEWYCKX, C., VANGRONVELD, J., PORTEOUS, F., MOORE, E. R. B., TAGHAVI, S., MEZGEAY, M., DER LELIE, D. V. (2002): Endophytic Bacteria and Their Potential Applications. Critical Reviews in Plant Sciences, 21, 583-606.
- MANNINGER, E. – SZEGI, J. (1963): A „baktériumtrágyák alkalmazásáról tartott nemzetközi koordinációs konferencia Leningrádban. Agrokémia és Talajtan Tom. 12. (1963) No.1. 171-174.
- PANDEY, A., MANKAR, A. R., MODAK, A., PANT, K. K., (2021): Pretreatment of lignocellulosic biomass: A review on recent advances.
- SHEN, D. (1997): Microbial diversity and application of microbial products for agricultural purposes in China. Agric. Ecosyst. Environ. 62, 237-245.
- SOLTI G., (2004): talajoltó baktériumtrágyák. Magyar mezőgazdaság. 2004. 59. 39. 19.
- SZAKÁL F. (1999): A fenntartható mezőgazdaság és szerepe a vidéki térségek fejlődésében. A Falu, 14. (2): 23-37.
- TAURIAN, T., IBÁÑEZ, F., ANGELINI, J., TONELLI, M. L., FABRA, A. (2012): Endophytic Bacteria and Their Role in Legumes Growth Promotion. In: MAHESHWARI, D. K. (ed.) Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics. Heidelberg: Springer SBM. 141 p.
- (2021): Miért jelent többet a szerves trágya, mint a műtrágya? Agroinform, 2021. november 21. https://www.agroinform.hu/kerteszeti_szoleszet/szerves-tragya-tapananyag-utanpotlas-mutragya-38257-001

5. Mellékletek

1. Mintaszám	Telepszám	Átlag
1A	6	6
1B	3	
1C	9	
2A	44	31,7
2B	34	
2C	17	
3A	4	10,3
3B	4	
3C	23	
4A	18	15
4B	19	
4C	8	
5A	4	29,7
5B	12	
5C	73	
6A	10	29,3
6B	13	
6C	65	
7A	21	28,3
7B	8	
7C	56	
8A	123	159,7
8B	275	
8C	81	

1. Táblázat Kitenyészített endofita baktériumok részletes telepszáma

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Témavezetőmnek, **Pacsutáné Dr. Biró Borbála** Professzor asszonynak a munkám során nyújtott támogatásáért, szakmai segítségéért.

Köszönetem fejezem ki **Dr. Kotroczó Zsolt** tudományos munkatársnak a segítőkész támogatásáért és szakmai tanácsáért.

Köszönetem fejezem ki **Dr. Juhos Katalin** egyetemi adjunktusnak a laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott szakmai segítségéért.

Köszönetem fejezem ki **Papdi Enikő** doktorandusz hallgatónak, hogy kutatásába bekapcsolódhattam.

Köszönöm az **Agrárkörnyezettani Tanszék** dolgozóinak a dolgozat elkészülésében való együttműködésüket.

Köszönöm **családom** segítségnyújtását, bátorítását, támogatását.

7. Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: András Brigitta
A Hallgató Neptun kódja: KNT3LI
A dolgozat címe: Gyökér endofita mikrobák összehasonlító vizsgálata
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agrárkörnyezettani Tanszék

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

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

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

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 11 hó 08 nap


Hallgató aláírása

8. Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Andrási Brigitta (hallgató Neptun azonosítója: KNT3LI) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: _Érd, 2023. November 11.



belső konzulens
Prof. Dr. Biró Borbála

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.