MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

BIOEFFEKTOR TALAJOLTÓK HATÁSA A PARADICSOMRA ÉS A TALAJ FOSZFORHASZNOSULÁSÁRA

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

SIMONNÉ DUDÁS ANITA

Budapest

2021

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Zámboriné Dr. Németh Éva, egyetemi tanár, D.Sc.

MATE, Kertészettudományi Intézet / Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Témavezető: Dr. Biró Borbála, egyetemi tanár, D.Sc
Szent István Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék

Társ témavezető: Dr. Végvári György, egyetemi tanár, C.Sc.
Eszterházy Károly Egyetem, Szőlészeti és Borászati Intézet

……..... ….....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

…….....

A társ témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK 1

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 3

2.1. A paradicsom jelentősége 3

2.2. Foszfor a talajban 5

2.2.1. Foszfor szerepe a paradicsomtermesztésben 6

2.3. Mikroorganizmusok a talajban 7

2.3.1. Foszforoldó mikroorganizmusok 13

2.4. A mikrobiális talajoltóanyagok eredete és használata 18

2.5. A talajoltást befolyásoló abiotikus és biotikus tényezők 23

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK 27

3.1. A kísérleti helyszínek 27

3.2. Felhasznált anyagok 29

3.2.1. Mikrobiológiai oltóanyagok 30

3.3. A kísérletek beállítása 33

3.3.1. Tenyészedény kísérletek 33

3.3.2. Szabadföldi kísérletek beállítása 35

3.4. A BIOFECTOR projekt 38

3.5. Vizsgálati módszerek 39

3.5.1. Mintavételezés 39

3.5.2. Talajvizsgálati módszerek 40

3.5.2.1. A talaj foszfortartalom-mérése 40

3.5.3. Növényvizsgálati módszerek 40

3.5.3.1. Fenológiai bélyegek meghatározása (bonitálás) 40

3.5.3.2. Növényminták foszfortartalom-mérése 41

3.5.4. Termésminták beltartalmi értékeinek a vizsgálata 41

3.5.4.1. Brix-fok meghatározása 41

3.5.4.2. Cukor- és savtartalom meghatározása 42

3.5.5. Mikrobiológiai vizsgálati módszerek 42

3.5.5.1. Legvalószínűbb élő sejtszám meghatározása 42

3.5.5.2. FDA enzimvizsgálat 43

3.5.5.3. Foszfatáz enzimvizsgálat 43

3.5.6. Adatok kiértékelése 43

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 44

4.1. A mikrobiális oltások hatása a talajtulajdonságokra 44
4.1.1. A fizikai, kémiai tulajdonságok alakulása 44
4.1.1.1. Az oltások és a foszfor felvehetősége 44
4.1.2. A biológiai tulajdonságok alakulása 47
4.2. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsomnövényre 53
4.2.1. Az egyedi mikrobás oltások hatásai 53
4.2.2. A kombinált mikrobiális oltások hatásai 55
4.3. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsom minőségére 59
4.3.1. A paradicsom méretei és élvezeti értéke 59
4.3.2. A paradicsom piaci tulajdonságai 69
4.4. Az oltáshatások gyakorlati alkalmazása 71
4.4.1. A tenyészedény és szabadföldi kísérletek összehasonlítása 71
4.4.2. Az oltóanyagok hatásának összehasonlítása a nemzetközi eredményekkel 76
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 77
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK 80
7. ÖSSZEFOGLALÁS 81
8. SUMMARY 83
9. IRODALOMJEGYZÉK 85
10. MELLÉKLETEK 111
11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 115

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AL: ammónium-laktát

AM: arbuszkuláris mikorrhiza

BR: Biorex, magyar eredetű, kétkomponensű talajoltóanyag (BR1 + BR2)

FAO: Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FDA: fluoreszcein-diacetát

$H_2PO_4^-$: dihidrogén foszfát

HPLC: nagy teljesítményű folyadékkromatográfia (high performance liquid chromatography, high pressure liquid chromatography)

HPO_4^{2-}: hidrogén foszfát

ISR: indukált szisztematikus rezisztencia (induced systemic resistance)

MHB**:** mikorrhiza segítő baktériumok (mycorrhiza helper bacteria)

MPN: legvalószínűbb élő sejtszám (most probable number)

n.a: nem analizált

PGP: növénynövekedést elősegítő (plant growth promotion)

PGPR: növény növekedését elősegítő rizobaktériumok (plant growht promotig rhizobacteria)

PGR**:** növényi növekedést szabályozó (plant growth regulator)

PSM**:** foszfátoldó mikroorganizmusok (phosphate solubilizing microorganisms)

RP: nyersfoszfát (rock-phosphate)

RV: RhizoVital, német eredetű, egykomponensű talajoltóanyag

SAR**:** szisztematikusan szerzett rezisztencia (systemic acquired resistance)

SZF: szabadföldi

TE: tenyészedény

TSP**:** tripla-szuperfoszfát (triple-superphosphate)

TSS: összes vízoldható szárazanyag-tartalom **(**total soluble solids)

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A 21. század egyik legnagyobb kihívása a fenntartható és környezetbarát termesztés kialakítása. Hogy elegendő táplálékkal lássa el a növekvő népességet, fokozott termelésre van szükség. A jelenlegi mezőgazdasági technológiák közös jellemzője a nagy mennyiségű és sokszor rosszul megválasztott műtrágyák használata, melyek nagy környezeti kockázattal járhatnak. Mind a nemzetközi, mind a hazai fenntartható mezőgazdasági művelés alternatív módszere a mikrobiális talajoltóanyagok használata. A 36/2006. (V.18.) FVM rendelet szerint a mikrobiológiai készítmény olyan mikroszervezete(ke)t tartalmazó termésnövelő anyag, mely a talaj termékenységét javítja, a növény fejlődésére hatással van és elősegíti a komposztálási folyamatokat, az emberre nem fertőző és a talaj mikroflóráját nem befolyásolja kedvezőtlenül. Ezen előnyös tulajdonságok miatt a biológiailag effektív (bioeffektor) organizmusok sikeresen beilleszthetőek az ökológiai gazdálkodás gyakorlatába, hiszen az oltás következményeként csökken a szintetikus műtrágyák, toxikus anyagok mennyisége, vagy akár teljesen el is hagyhatóak azok.

Magyarországon jelenleg száznál többféle engedélyezett mikrobiológiai készítmény van forgalomban. Ebből látszik, hogy hazánkban is igen széles a választék bioeffektorokból. Sajnos ez a nagy kínálat nehezíti a termesztett növényhez legmegfelelőbb oltóanyag kiválasztását. Sok esetben gond, hogy a termesztők túlzott elvárásokkal használják ezeket a készítményeket: megtévesztő például a biotrágya (biofertilizer angol szóból fordítva) kifejezés, ami azt sugallja, hogy a készítmény hozzáadott tápanyagot tartalmaz a mikroorganizmusokon felül. Ezzel szemben az oltóanyagok pozitív hatása a tápanyagok feltárásában, növekedés stimulálásában, károsítók elleni védelemben mutatkozik meg.

Külső tényezők közül számos befolyásolja ezen talajlakó organizmusok összetételét és számát. A mikroorganizmus-növény kölcsönhatás eredménye nagyban függ a növény genotípusától, a talaj mikrobiális közösségének összetételétől és számos környezeti tényezőtől, mint a hőmérséklet, a fényintenzitás és a különféle kémiai és fizikai talajtulajdonságok. Jelen kutatási munkában arra kerestük a választ, hogy ezek a tényezők hogyan akadályozhatják az oltóanyagoktól elvárt hatások érvényesülését.

Kísérleteinket az Európai Unió 7-es keretprogram (FP7 / 2007-2013) által támogatott BIOFECTOR projekt keretein belül végeztük, melyben 11 ország vett részt. A legújabb tudományos megközelítések alapján a projekt a talaj termékenységén, az egészséges növények növekedését támogató biológiai folyamatok megértésén és az erőforrások hatékony kihasználásán alapszik. Ez magába foglalja a növények és környezetükben élő mikroorganizmusok egész rendszerének működését, valamint a különféle élő és élettelen stresszhatások miatt kialakuló

növényi adaptációt és védekezési válaszreakciót. A projekt célja, hogy egy olyan integrált termesztési stratégiát dolgozzon ki, amely optimálisan ki tudja használni a bioeffektorokban rejlő potenciált a mezőgazdasági termesztés területén magas termésminőségben és hozamszinttel a természeti erőforrások fenntartása mellett, a tenyészedény kísérletektől a szabadföldi vizsgálatokig úgynevezett „upscaling" rendszerben.

A termésnövelőkhöz sorolt mikrobiális kereskedelmi oltóanyagok hatásait vizsgáltuk paradicsom tesztnövénnyel tenyészedényes és szabadföldi körülmények között az ökológiai gazdálkodás követelményeit figyelembe véve.
A kísérleteket a soroksári gyengén humuszos homoktalaj felhasználásával beállítva tenyészedényben és szabadföldi körülmények között a foszfor felvehetősége, a különböző bioeffektor talajoltások, valamint a paradicsom mennyisége és minősége közötti összefüggéseket kerestük.

1) Vizsgáltuk, hogy az alkalmazott különböző kereskedelmi oltóanyagok hatására miként javul a talaj felvehető foszfortartalma.
2) Vizsgáltuk, hogy a növény foszforfelvétele hogyan változik, és ezzel a paradicsom termésmennyisége miként módosul.
3) Érzékszervi- kis- és nagyműszeres vizsgálatokkal kerestük az alkalmazott bioeffektor kezeléseknek a paradicsom-termések minőségi, beltartalmi tulajdonságaira, élvezeti értékeire kifejtett pozitív kölcsönhatásait.
4) Feltételeztük, hogy az oltások növelik a talajmikroorganizmusok számát és/vagy az aktivitását, és ez közvetlenül vagy közvetve is képes kedvezően befolyásolni a növénytáplálást.
5) Feltételeztük, hogy a tenyészedény kísérletek eredményeit a szabadföldi kísérletek is igazolják, az ismert biotikus és abiotikus környezeti tényezők befolyásoló hatása ellenére.
6) Az eredményeknek a gyakorlati alkalmazási lehetőségeit is szem előtt tartva ajánlások megfogalmazására törekszünk a bioeffektor foszformobilizáló mikroorganizmusokat tartalmazó készítmény(ek) talajoltóanyagként való felhasználásával kapcsolatban.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A 21. század egyik legnagyobb kihívása a környezetbarát és fenntartható növénytermesztés kialakítása (FAO, 2003). Fokozott termelésre van szükség, amely elegendő táplálékkal látja el a növekvő népességet. A jelenlegi mezőgazdasági technológiák jellemzője a túl nagy mennyiségű és sokszor rosszul megválasztott műtrágyák és peszticidek használata, melyek nagy környezeti kockázattal járnak (Gunnell et al, 2007; Leach és Mumford, 2008; Mahdi et al, 2010; Ansari és Mahmood, 2017). A nagy mennyiségű terméshozam elérése érdekében használt műtrágyák és növényvédőszerek széles körű felhasználását a környezettel és az egészségüggyel kapcsolatos súlyos problémák kísérik. Ilyen például az élelmiszerek szennyeződése, a levegő- víz- és talajszennyezés, a talaj termékenységének romlása és a biodiverzitás csökkenése, ami megkérdőjelezi a hosszú távú fenntarthatóságot (Matson et al, 1997; Swaminathan, 2006). Az intenzív talajművelés hatására szintén jelentősen csökken a talaj diverzitása. Nem csak a talajlakó mikroorganizmusok sokfélesége redukálódik, hanem az egyedszámuk is (Johnston, 1994). Az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) aggasztó adatai azt jelzik, hogy a főbb gabonanövények, mint a búza, a kukorica és a rizs termelési átlaga évről-évre csökkenő tendenciát mutat, még a legtermékenyebb területeken, még a nagy mennyiségű agrokémiai szerek használata mellett is (Gruhn et al, 2000; Heisey, 2002; Wiebe, 2003; Swaminathan, 2004). Ez a visszaesés legfőképp az agroökoszisztéma lerombolásának, a biodiverzitás csökkenésének és a talajok kizsákmányolásának következménye. Az intenzív termesztés velejárója továbbá a talaj termékenységének csökkenése és a növényegészségügyi problémák növekvő száma is (Conway és Toenniessen, 1999; Wiebe, 2003). Épp ezért a fenntartható mezőgazdaság és élelmiszer-termelés napjaink egyik legfontosabb szempontjává vált. Egyre nagyobb az igény az ökológiai gazdálkodási rendszerekből származó gyümölcsökre és zöldségekre, valamint vegyi műtrágyák, növényvédőszerek és xenobiotikumok nélküli termesztésre, melyek mind-mind károsak az emberi egészségre (FIBL, 2001; Hesammi et al, 2014; Kocsis et al, 2017).

2.1. A paradicsom jelentősége

A paradicsom az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett zöldség világszerte, mely fogyasztható frissen és feldolgozott formában is (Helyes, 2014).

Napjainkban az egészséges táplálkozásban a paradicsomnak egyre nagyobb szerepe van. Joggal nevezik a "szegény ember narancsának" (Devi et al, 2008), hiszen jelentős mennyiségű likopint, antioxidánsokat, vitamint, ásványi anyagot és egyéb természetes vegyületet tartalmaz. Ezek az összetevők az egészségünkért felelősek, csökkentik a szívbetegségek és a rák kialakulásának

kockázatát (Mohácsi-Farkas et al, 2014). A különböző fajták likopintartalma igen eltérő lehet egymástól. A friss paradicsomban akár 60-160 ppm (mg/kg) érték közt is változhat a termesztési körülmények, a termesztési mód és az alkalmazott fajtától függően (Helyes, 2014). A bogyók érettsége és likopintartalma között szoros összefüggést figyeltek meg. A zöld, még éretlen bogyókban a likopin mennyisége kimutatási határon volt. Az éréssel párhuzamosan felgyorsult a likopin felhalmozódása. A sötétebb árnyalatú piros bogyók több, mint 50%-kal gazdagabbak likopinban, mint a piros bogyók (Brandt, 2007).

A paradicsomtermesztést mély talajművelés, csepegtető öntözési mód, fokozott trágya- és növényvédő szerhasználat jellemzi a minél magasabb hozam elérése érdekében (Glendining et al, 2009). A népességnövekedés és a mezőgazdasági területek folyamatos csökkenése miatt egyre inkább rákényszerülünk az intenzív termesztésre, mely magába foglalja a megnövekedett műtrágyahasználatot is. Ezen anyagok tartalmazzák a legtöbb alapvető tápelemet, pozitívan befolyásolják a növények növekedését. A műtrágyák alkalmazása döntő szerepet játszhat az aszályos viszonyoknál is, mivel növelik a növény azon képességét, hogy több vizet tartson meg, illetve növelik a gyökerek méretét is (Sambo és Nicoletto, 2017). Sajnos ezzel szemben az ilyen termesztési módok gyakran rontják a zöldségek és gyümölcsök beltartalmi értékeit (Devi et al, 2008). Mindemellett pedig ezek a módszerek súlyos környezeti kockázatot hordoznak magukban: a növények sokszor nagyon gyenge hatásfokkal képesek csak felvenni a kijuttatott műtrágyákból a szükséges tápanyagokat, azok nagy része így a környezetbe kerül (Barlog és Grzebisz 2004).
A túlzott műtrágyahasználat káros környezeti hatásai közé sorolható a

- nitrátkioldódás, a foszforelfolyás és ezáltal a talajvíz szennyezése (Gyaneshwar et al, 2002; Sharpley et al, 2003);
- a vízi élet eutrofizációja, a biodiverzitás csökkenése (McLaughlin és Mineau, 1995);
- az üvegházhatást okozó gázok fokozott keletkezése, ezáltal a globális felmelegedés fokozása, a savas esők, a talajok kémhatásának rendellenes megváltozása, illetve azok sókoncentrációjának növekedése (Mosier et al, 1996; Tilman, 1998).

A kijuttatott nitrogénmennyiség közel fele nem hasznosul a mezőgazdasági rendszerekben és N_2 vagy nitrát formájában kötődik le (Vitousek et al, 1997). Hasonlóan a nitrogénhez, a foszfor is csupán kis mértékben jut be a növényekbe műtrágyákon keresztül. Nagyrészük (akár 90% is) a talajban lekötődik, különböző fémkomplexeket alkotva a talajkolloidokkal vagy a felszíni, illetve felszínalatti vizekbe kerül, és az élővizekben eutrofizációt okoz (Rodriguez és Fraga, 1999; Gyaneshwar et al, 2002).

Az intenzív agrokémiai művelés miatt a talajra gyakorolt környezeti hatások megnövekednek, ezáltal jelentősen csökken a talajban élő szervezetek diverzitása (Juhos, 2014; Juhos et al, 2015, 2016; Tariq et al, 2016). A termés növelésére és a talaj termékenységének

fokozására használt termésnövelők, mint a műtrágyák, szerves trágyák, sokszor károsan befolyásolják a talaj biogeokémiai folyamatait is (Steinshamn et al, 2004). Biotechnológiai kutatásokkal, illetve hagyományos nemesítési módszerekkel számos új növényfajjal és- fajtával járultak már hozzá a környezetkímélő technológia kifejlesztéséhez. Ezek a növények ellenállóbbak a betegségekkel szemben, jobb a só- és szárazságtűrő képességük, valamint tápértékük is magasabb (Berg, 2009). Sajnos, sok esetben a növény-mikroba között létrejövő kedvező kölcsönhatásokat figyelmen kívül hagyják a termesztési stratégiák kialakításakor (Smith et al, 1999). Pedig a mikrobiológiai készítmények eredményesen beépíthetőek az intenzív művelésbe, ugyanis elősegítik a növények növekedését, javítják a tápanyagfelvételt és a növények egészségi állapotára is kedvezően hatnak (Kloepper et al, 2004; Weller, 2007; Adesemoye et al, 2008), emellett növelik a növények stressztűrő képességét, és fokozzák a biodiverzitást is a talajokban (Lugtenberg et al, 2002; Morrissey et al, 2004).

2.2. Foszfor a talajban

A talajok összes foszfortartalma átlagosan 0,02-0,15%, de ebből a növények számára felvehető forma igen csekély. Legnagyobb forrása a kőzetekben van oldhatatlan nyersfoszfát formában lekötve. Ezen kívül a mezőgazdasági területek nagy mennyiségben tartalmaznak szerves –és szervetlen foszforformákat, ám ezek általában immobilisak és a növények számára nem elérhetőek. Emiatt a növények csak kis mennyiséget képesek a talajból hasznosítani és sok talaj valójában foszforhiányosnak tekinthető. Relatív tápanyaghiány során a talajban található magas foszfortartalom ellenére a növények csak kis részét képesek felvenni, ugyanis a foszfor nagy mennyiségben kötődik különböző fémekhez (mint a vas, az alumínium vagy a kalcium) és ezekkel oldhatatlan komplexeket képeznek. (Igual et al, 2001; Adesemoye és Kloepper, 2009).

A műtrágyákkal talajhoz adott foszfor, legtöbbször vízoldható monokalcium-foszfát ($Ca(H_2PO_4)_2$) viszonylag gyorsan átalakul nehezen oldható foszfátvegyületekké. Ezért előfordulhat, hogy a kijuttatott műtrágyából a növények nem képesek azt kellő mértékben felvenni, mert a foszfor gyorsan lekötődik oldhatatlan formában a talajkolloidokhoz (Ohno et al, 2005).

A talaj foszfortartalmának mintegy 30-65%-a szerves formában található meg a talajokban, főként inozitol foszfatáz (fität) formában. Ahhoz, hogy a növények ezt asszimilálni tudják, szükség van azok mineralizációjára (Rodriguez és Fraga, 1999).

A növények a foszfort $H_2PO_4^-$ és HPO_4^{2-} formában képesek felvenni a talajoldatból, ám ezek a formák a talajok összes foszfortartalmához képest igen kis mennyiségben vannak jelen. A növények számára hozzáférhető foszfor mennyisége függ a talaj foszfortartalmától, a

foszforformák minőségétől, a talaj kémhatásától, kötöttségétől, mésztartalmától, valamint a talajkolloidok mennyiségétől és minőségétől (Hossner et al, 1973). A talaj kémhatása igen erős befolyással van az elem felvehetőségére. A pH változásával módosul a szervetlen foszforvegyületek oldhatósága, illetve az agyagásványok és kolloidok felületén való adszorpciója. Ezeket figyelembe véve a foszfor felvételéhez legoptimálisabb, ha a talaj pH= 5,5-7,0 tartományba esik (Mengel és Kirkby, 1987). A talaj foszforellátottságának megállapításánál figyelembe kell vennünk a vizsgált talaj típusát és annak karbonáttartalmát is (1. táblázat).

1. táblázat: Foszforellátottság a talajban: ammóniumlaktátos kivonószerrel mért felvehető foszfortartalom mennyisége (Szakál et al, 2010)

Szántóföldi termőhely	Karbonátosság $CaCO_3$ %	AL-P_2O_5 mg/kg és a szolgáltató képesség				
		Igen gyenge	Gyenge	Közepes	Jó	Igen jó
I. Csernozjom talajok	>1	50	51-90	91-150	151-250	251-450
	<1	40	41-80	81-130	131-200	201-401
II. Barna erdőtalajok	>1	40	41-70	71-120	121-200	201-400
	<1	30	31-60	61-100	101-160	161-360
III. Kötött réti és glejes erdőtalajok	>1	40	41-70	71-110	111-180	181-380
	<1	30	31-60	61-100	101-150	151-350
IV. Homok- és laza talajok	>1	50	51-80	81-130	131-250	251-450
	<1	30	31-60	61-100	101-200	201-400
V. Szikes talajok	>1	40	41-70	71-120	121-180	181-380
	<1	30	31-60	61-100	101-140	141-340
VI. Sekély termőrétegű, v. erősen erodált lejtős t.-ok	>1	50	51-80	81-130	131-200	201-400
	<1	30	31-60	61-100	101-150	151-350

2.2.1. Foszfor szerepe a paradicsomtermesztésben

A foszfor az egyik legfontosabb makroelem, jelentős szerepe van a növényi növekedésben és fejlődésben (Soetan et al, 2010). A foszforellátás kulcsfontosságú kérdés az optimális paradicsomtermelés szempontjából, szükségessége különösen fontos a paradicsom növekedésének kezdetén és a bogyóképződéskor (Smilde et al, 1968; Sobulo et al, 1975; Martins et al, 2017; Biró et al, 2018).

A bogyóban található oldható cukrok és szerves savak fontos szerepet játszanak a paradicsom minőségének és a termék ízértékének jellemzésében. A paradicsom 5,0-7,5% vízoldható szárazanyagot tartalmaz, amely főként fruktózból, glükózból, citromsavból, almasavból és más szerves vegyületekből áll (Salles et al, 2003; Sariyer és Oztokat, 2015). A paradicsom édes ízének jellegét az összes vízoldható szárazanyag-tartalmában (TSS - total soluble solids) található cukrok adják. A Brix-fok (°Bx) vagy másnéven cukorfok az oldatok cukortartalmának hagyományos mértékegysége. 100 g oldatban található 1 g szacharóz 1 Brix-foknak felel meg, tehát a tömegszázalékos szacharóztartalmat fejezi ki. Paradicsomnál jellemzően 4-7 Bx° között van ez az érték (Brandt, 2007). A paradicsomban a legfontosabb szerves savak a citromsav és az almasav, ezek közül a citromsav dominál (Davies és Hobson, 1981). Nagy cukortartalom és viszonylag magas savtartalom kívánatos a harmonikus íz érdekében

(Stevens et al, 1977). Farkas (1985) szerint az ízletes, karakteres paradicsom összes vízoldható szárazanyag-tartalma és a sav hányadosa 15, míg a cukor- sav aránya 8,5 körüli. Másrészről Helyes (1999) szerint a paradicsom akkor a legzamatosabb, ha a cukor- sav arány értéke 10 körül van. Ha magas cukortartalomhoz alacsony savtartalom párosul, jellegtelen ízű lesz a paradicsom. Ha viszont magas savtartalom mellett alacsony a cukor mennyisége, a bogyó íze fanyarrá, savanyúvá válik. Ha mind cukor-, mind a savtartalom alacsony a termésben, akkor pedig ízetlen lesz az.

A cukor- és savtartalom szintje függ az érettségtől, a fajtától, és a talaj-, illetve a környezeti tényezőktől (Baldwin et al, 1991; Beni et al, 2014). A foszfortartalom befolyásolja a biológiailag aktív vegyületek mennyiségét a gyümölcsben, egyenletes biztosítása hozzájárul az összes vízoldható szárazanyag-tartalom érték növeléséhez, így a termés feldolgozásának minősége javul (Di Cesare et al, 2010).

2.3. Mikroorganizmusok a talajban

A környezeti feltételek változékonyságától függően a talaj egy hektárra vetített térfogatában 3-15 t mikroorganizmus található (Fekete et al, 2008; Kotroczó et al, 2008; Veres et al, 2013). A talajban élő organizmusok biológiai aktivitása döntő szerepet játszhat a tápanyagok mobilizálásában és felvehetőségében. Számos organizmusról ismert, hogy támogatják a talaj szervesanyagának lebontását (Kotroczó et al, 2014a; Fekete et al, 2014; Veres et al, 2015). Ebben a tekintetben kulcsfontosságú terület a rizoszféra, amelyet először Lorenz Hiltner, fitopatológus írt le, mint a gyökerek által befolyásolt talajrészt (Hiltner, 1904; idézi: Hartmann et al, 2007). Amely a talaj, a növény és a kapcsolódó organizmusok kölcsönhatásából álló összetett kapcsolat (Lynch, 1990; Lavelle, 2002). Egy évszázaddal ezelőtt Hiltner már felvázolt egy rizoszférára ható kezelési módszert, amely során baktériumokat tartalmazó talajoltóanyagot használnak a talaj termékenységének, a növény növekedésének és tápanyag-ellátottságának, illetve patogénekkel szembeni ellenálló képességének fokozására (Sen, 2005; Hartmann et al, 2007).

A talajban számos mikrobiális csoport található, amelyek elősegítik a növények tápanyagfelvételét és vízoldhatóvá teszik azokat (Schweitzer et al, 2008; Kotroczó et al, 2014b). Az elmúlt évtizedekben a nagy mennyiségű vegyszeres műtrágyázás volt a legmeghatározóbb az intenzív mezőgazdasági termelésben. Figyelmen kívül hagyták az aktív mikrobiális talajjellemzőket, mivel a műtrágyák révén a növények elegendő tápanyaghoz jutottak. Az általuk okozott károkat az ökoszisztémában sokáig nem vizsgálták (Juhos, 2014).

Egyre nagyobb érdeklődés van az olyan zöldségek és gyümölcsök iránt, melyeket ökológiai gazdálkodásban termesztenek, illetve olyan helyeken, ahol csökkentett műtrágya- és peszticidhasználat a jellemző (FIBL, 2001; den Hollander et al, 2007; Hesammi et al, 2014; Németh és Várallyay, 2015). A figyelem egyre inkább az élő szervezeteken alapuló

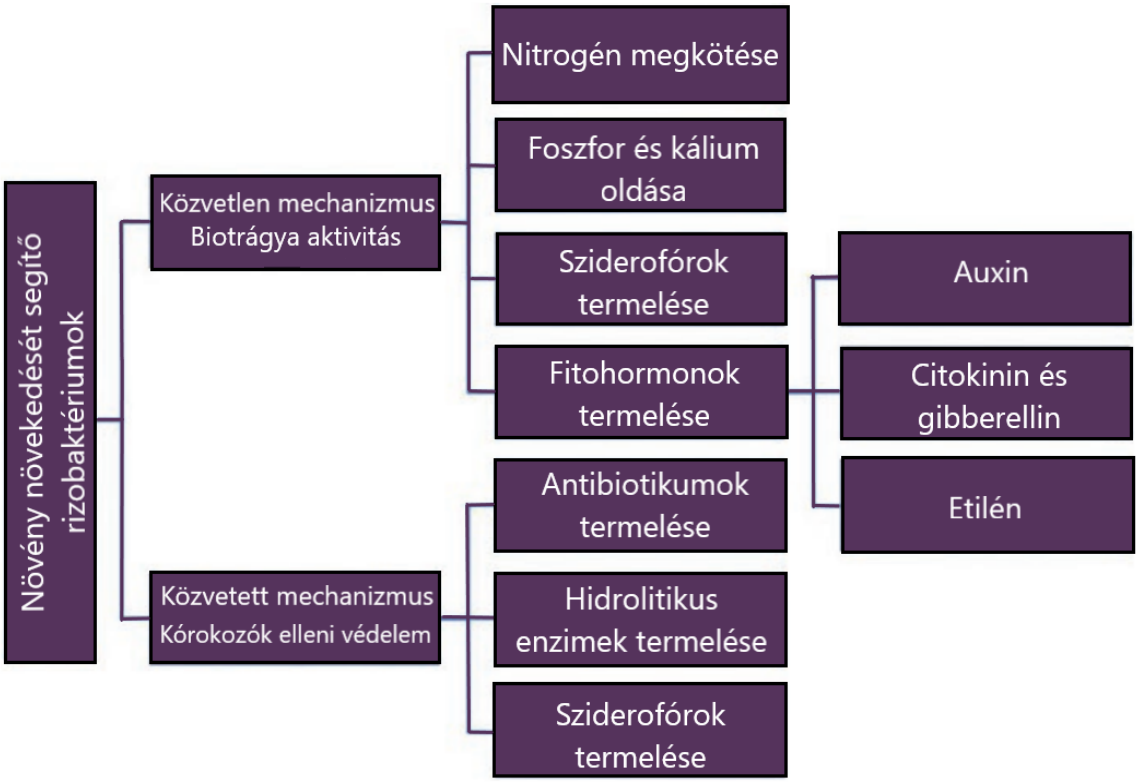
készítményekre irányul, amelyek biostimuláns vagy biotrágya szerepet tölthetnek be. Javítják a növények növekedését és a tápanyagok felvehetőségét, vagy mint úgynevezett biopeszticidek (helyesebben, mint biokontroll ágensek) a növények egészségességét védik (Dent, 2000; Selvamukilan et al, 2006; Rahman et al, 2018). Az intenzív mezőgazdasági művelés egyik alternatív módszere az élő (mikroorganizmusok) és az élettelen anyagok (talajjavító vegyületek, természetes ásványi anyagok, hordozók) együttes, bioeffektorként való alkalmazása, amelyek egy vagy több hasznos mikroorganizmust tartalmazhatnak (Matics és Biró, 2015). A bioeffektorok olyan biológiailag hatékony (effektív), életképes szervezetek és/vagy aktív természetes vegyületek, amelyek közvetlenül vagy közvetve hatnak a növények teljesítményére.

A hagyományos műtrágyákkal és peszticidekkel szemben a bioeffektorok hatékonysága nem a szervetlen vagy szerves tápanyagok közvetlen talajba juttatásán alapszik. Ezek a termékek a már talajban lévő anyagok feltárását és növénybe jutását támogatva fejtik ki hatásukat. Az élő és élettelen bioeffektorok kombinációjával a jótékony mikroorganizmusok életképességei jelentősen növelhetőek (Biró et al, 2018). Az így alkalmazott mikrobákról ismert, hogy elősegítik a növények növekedését és fejlődését, a növények tápanyag- és vízfelvételét, és akadályozhatják a növénypatogén mikroorganizmusok felszaporodását is. Ezen organizmusokat tehát sikeresen be lehet építeni a környezetkímélő növénytermesztés rendszerébe, vagy bármely remediációs technológiai folyamatba (Glick et al, 2007; Weinann, 2017; Yin et al, 2018).

A növény növekedését elősegítő rizobaktériumok (PGPR – plant growht promoting rhizobacteria) és gazdanövényeik között fennálló szimbiotikus kapcsolatot először Kloepper és Schroth (1978) írta le. PGPR mikroorganizmusok, mint oltóanyagok felhasználásával, nitrogén-, foszfor- és különféle mikroelemek válnak elérhetővé a növények számára. Ez a mechanizmus tápanyagegyensúlyt eredményezhet a talajban és gyógyíthatja a tápanyag-rendellenességeket. A talajoltás közvetett következményeként csökkenhető a szintetikus műtrágyák, az egyéb xenobiotikumok (mesterséges életidegen anyagok), valamint toxikus agrokémiai vegyületek alkalmazása (Hayat et al, 2010; Yin et al, 2018; Danish és Zafar-ul-Hye, 2019). Az elmúlt években számos mikroorganizmus nemzetséget vizsgáltak, tanulmányozták a növényekre gyakorolt jótékony hatásukat. Ilyen baktérium például az *Azospirillum* (Okon, 1994; Heidari és Golpayegani 2012), a *Bacillus* (Jacobsen et al, 2004; Solanki et al, 2017; Kashyap et al, 2019), a *Pseudomonas* (Haas és Défago, 2005; Loper et al, 2007; Khan et al, 2009; Satyaprakash et al, 2017), a *Rhizobium* (Long, 2001; Sharma et al, 2013; Hajjam és Cherkaoui, 2017), a *Serratia* (de Vleeschauwer és Höfte, 2007; Kour et al, 2020) és a *Streptomyces* (Schrey és Tarkka, 2008; Kumar et al, 2018) nemzetség tagjai vagy az *Ampelomyces*, a *Coniothyrium* és a *Trichoderma* gombák (Harman et al, 2004; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Selvi et al, 2017).

A PGPR mikroorganizmusokat jótékony talajorganizmusoknak tekintik, amelyek kedvezően befolyásolják a növények növekedését és termését. A PGPR-k különféle közvetlen és közvetett mechanizmusokkal befolyásolhatják a növények növekedését (Vacheron et al, 2013). A közvetlen mechanizmusok magukban foglalják a tápanyagellátási képességüket (nitrogénfixáció, foszfor- és káliumoldás) vagy növényi hormonok termelését. A közvetett mechanizmusok közé tartozik a különféle növényi kórokozókra gyakorolt gátló hatás, növekedést szabályzó antagonista anyagok termelése vagy a kórokozókkal szembeni rezisztencia kiváltása (Figueiredo et al, 2016; Sansinenea, 2019) (1. árba).

Ezek az organizmusok fontos szerepet játszanak a szerves anyagok lebontásában és a tápanyagok (például vas, magnézium, kálium, foszfor) feltárásában (Lalitha, 2017). Segítenek megvédeni a növényeket a talajból származó növényi kórokozók fertőzésétől, emellett javítják a talaj kémiai és fizikai tulajdonságait és csökkentik a szükséges műtrágyák mennyiségét (Hayat et al, 2010). A PGPR szervezetek számos egyéb jótékony tulajdonságát is igazolták: javítják a magvak csírázóképességét, növelik a gyökérhosszt, a hajtás- és gyökértömeget, fokozzák a tápanyagfelvételt, a fehérjetartalmat, a levél klorofilltartalmát, a terméshozamot, az abiotikus stresszel szembeni ellenállóságot és lassítják az öregedési folyamatokat (Bashan et al, 2004; Mantelin és Touraine, 2004; Yang et al, 2009; Weinann, 2017; Biró et al, 2018).



1. ábra: Növény növekedést segítő rizobaktériumok hatásmechanizmusa (Sansinenea, 2019. nyomán)

Heidari és Golpayegani (2012) tanulmányozták, hogy a bazsalikom vízhiány okozta stresszes körülmények közt hogyan viselkedett, amikor *Pseudomonas spp*, *Bacillus lentis*, és *Azospirillum brasilense* törzsekkel oltották be a talajt. Bebizonyították, hogy ezen törzsek csökkentették a stressz okozta hatásokat azzal, hogy a levelekben növelték az antioxidánsok, a fotoszintetikus pigmentek és a klorofill mennyiségét. Gururani és társai (2013) azt állapították meg, hogy a só-, szárazság- és nehézfémstressznek kitett burgonya *Bacillus spp*. oltás hatására pozitív teljesítményt mutatott a növények fotoszintetikus teljesítményében. Khan és munkatársai 2019-ben szárazságstressznek kitett csicseriborsót vizsgálva szintén megállapították, hogy *Bacillus subtilis*, *B. thuringiensis* és *B. megaterium* oltóanyagokat használva a levelekben fokozódik a metabolikus aktivitás. Danish és Zafar-ul-Hye (2019) bioszénnel kombinálták a *B. amyloliquefaciens* baktériumot tartalmazó oltóanyagot. A kombináció hatására a vízhiányos állapotnak kitett búza leveleiben megnövekedett a klorofilltermelés, javította a fotoszintetikus sebességet, növelte a transpirációs sebességet. Gazdasági szempontból is számos előnyük van a növénnyel kölcsönhatásban lévő mikroorganizmusoknak. Kedvező hatással vannak a biomasszára, növelik a terméshozamot, és a termés minőségét is javíthatják (Grosch et al, 2005; Adesina et al, 2009; Wass-Matics, 2018; Tiwari et al, 2019).

A növény-talaj-mikroba rendszereknek sok egyedi hatása vagy mechanizmusa van, illetve az említett mechanizmusok kombinációja is lehetséges, és a különböző baktériumok vagy gombafajok több ilyen funkcionális tulajdonsággal is rendelkezhetnek.

Schippers (1985) a mikroorganizmusok három hatásmechanizmusát ismerteti a növény-talaj-mikroba rendszerekben:

I. Növelik a tápanyagellátást, a biológiai nitrogénkötést, a tápanyagok feltáródását a tápanyagok szállítását.

II. Növelik a növények ellenállóságát a kórokozó patogénekkel szemben kompetíció, parazitizmus, antibiózis, inhibitorok lebontása, indukált rezisztencia kiváltása révén.

III. Számos hormonszerű anyag előállításával és kiválasztásával segítik a növekedést.

A növények növekedését segítő baktériumok közvetlenül és közvetve is ki tudják fejteni hatásukat: közvetlenül, mikor maga a baktérium szintetizál anyagokat (pl. fitohormonokat), vagy megkönnyítik bizonyos vegyületek felvételét a környezetből (N_2-fixáció, P-oldás), közvetve pedig antibiotikumok, sziderofórok termelésével (Kloepper et al, 1986; Glick et al, 1994; Park et al, 2017; Sansinenea, 2019). Ilyen közvetlen hatásról számolnak be Sturz és munkatársai (1998), miszerint burgonya és lóhere fajok vetésforgóban való kísérletében az izolált endofita baktériumok 21%-a segítette a növények növekedését: 63%-kal növekedett a hajtáshossz, 66%-kal a hajtások nedvestömege és 55%-kal a gyökérzet nedvestömege a kontrollhoz képest. Bizonyos baktériumok

olyan enzimeket termelnek, melyek magára a baktériumra nincsenek hatással, ellenben a növények növekedését stimulálják. Glick és társai (1994; 1997) azt vizsgálták, hogy egy ilyen, baktériumok által termelt enzim, az ACC deamináz hogyan csökkenti a növények etiléntermelését. Már régóta ismert, hogy a növények az őket ért környezeti stresszhatásokra fokozott etiléntermeléssel válaszolnak (Hyodo, 1991; Abeles et al, 1992). Mivel az ACC-deamináz csökkenti az etilén termelődését, így a növény nem képes nagymértékű válaszreakciót adni a kiváltó stressztényezőre, ezáltal javítva a növényi fitneszt. Így a baktérium a növény növekedését segítő organizmusnak tekinthető (Glick et al, 1994).

Számos baktérium képes csökkenteni vagy megakadályozni a fitopatogének okozta káros hatásokat és ezzel közvetetten segíteni a növények növekedését. Legegyszerűbb stratégia az élettér (niche) elfoglalása a kórokozók elől gyorsabb szaporodás által (Darvas et al, 2008; Knief et al, 2010). Több esetben is bizonyították egyes baktériumok antagonista hatását talajlakó kórokozókkal szemben (Hebbar et al, 1992; Berg et al; 2006; Adesina et al, 2009, Yarzábal, 2010). Ilyen antagonista hatás például az antibiotikumok termelése, mely fontos szerepet játszik a közvetett növekedés-serkentésben. Az antibiotikumok hatására a fitopatogén szervezetek száma jelentősen csökken a növény környezetében (Fenton et al, 1992; Bangera és Thomashow, 1996). A károsítók elnyomására más mechanizmusok is ismertek, például gátló enzimek termelése, versengés a tápanyagokért vagy a gyökérfelszín életterének elfoglalása (Glick et al, 1995). Egyes hasznos szervezetek a kórokozókra nézve toxikus anyagokat tudnak kiválasztani a rizoszférába, illetve képesek őket parazitálni is (Haas és Défago, 2005; Raaijmakers et al, 2006).

A növényekhez kapcsolódott organizmusok nem csak antagonizmus révén tudják csökkenteni a káros szervezetek aktvitását, hanem képesek indukálni az ellenálló-képességet, úgynevezett indukált szisztematikus rezisztenciát (ISR - induced systemic resistance) váltanak ki. Néha azonban ez a mechanizmus átfedésben van a kórokozó által kiváltott, ún. szisztematikusan szerzett rezisztenciával (SAR - systemic acquired resistance) (Conrath et al, 2002; Van Loon, 2007).

Ezek a védőhatások sok esetben átfedhetik egymást, és a különféle mikroorganizmusoknak is egynél több hatékony növénynövekedést elősegítő (PGP - plant growth promotion) vagy növényi növekedést szabályozó (PGR - plant growth regulator) mechanizmusa lehet. A PGR olyan szerves anyagok csoportját jelenti, amelyek már kis koncentrációban is képesek befolyásolni a növények fejlődését és fiziológiáját, mint például a növényi hormonok (auxin, gibberelin, citokinin, etilén) (Salamone et al, 2005).

A hatékony növény-mikroba kölcsönhatásnál kulcsfontosságú, hogy az adott szervezet képes legyen kolonizálni a gazdanövény részeit (Lugtenberg et al, 2002; Kamilova et al, 2005). A kolonizálás magába foglalja a gazdanövény felismerését, a megtapadást, a behatolást (endofita

szervezetek esetén), majd a felszaporodást és a növekedést. A növény-mikroba kapcsolat mindkét félre hatással van: a növények legtöbbször a gyökerük kolonizálására úgy válaszolnak, hogy megnövelik a kiválasztódó gyökérváladék mennyiségét (Phillips et al, 2004). Paradicsom kísérletben bizonyították, hogy a *Fusarium oxysporu*m fitopatogén gomba és a biokontrollként használt *Pseudomonas fluorescens* baktérium befolyásolni képesek a gazdanövény gyökeréből kiválasztott szerves savak és cukrok összetételét (Kamilova et al, 2006).

A legjellemzőbb mechanizmus a gyökérhossz és –tömeg növelése. A gyökérrendszer növekedésével, a hajszálgyökerek megsokszorozódásával kiterjed a gyökérzóna, és ennek segítségével a növény több tápanyagot képes a talajból felvenni (Biswas et al, 2000; Adesemoye et al, 2008). A mikrobák extracelluláris enzimeket termelnek, melyek segítik a makromolekulák felvételét, beleértve a szén-, nitrogén-, foszfor- és kénmolekulákat (míg a növényi gyökerek csak a foszforra és az elérhető nitrogénre összpontosítanak) (Burns, 1982; Allison et al, 2007a). Ezen tápanyagok elérhetősége térben és időben változik és nem minden esetben elégítik ki a mikroorganizmusok és a növények aktuális igényeit. A sejten kívüli enzimek fő feladata tehát az összetett kémiai anyagokból származó tápanyag minél jobb hasznosítása. Az enzimtermelés legfontosabb előnye, hogy a szerves anyagot monomerekké vagy ásványi tápanyagokká alakítja át, amelyeket a mikrobák vagy a növényi gyökerek fel tudnak venni a sejtmembránon keresztül és asszimilálni tudják azokat. Az extracelluláris enzimek szinte minden makromolekulát megcéloznak, ideértve a fehérjéket (proteázok), a szénhidrátokat (amilázok, cellulázok, kitinázok), szerves foszfátokat (foszfatázok) és lignineket (oxidázok, peroxidázok) (Allison et al, 2007a).

Ha a talajlakó mikroorganizmusok foszforfelvétele korlátozott, savas vagy lúgos foszfatázokat termelnek (a talaj kémhatásától és a mikrobaközösség összetételétől függően), melyek szerves vegyületekből szabadítanak fel szervetlen foszfátokat (Haynes és Swift, 1988; Antibus et al, 1992). Számos kutatással bizonyították, hogy fordított arányosság van a talajban vagy vízben található szervezetek foszfatáz aktivitása és az elérhető szervetlen foszformennyiség között (Chro'st, 1991; Olander és Vitousek, 2000; Treseder és Vitousek 2001; Allison et al, 2007b). A specifikus bioeffektív és stresztűrő mikroorganizmusokat ezért hatékonyan használják a melioráció, a rekultiváció vagy akár kármentesítési gyakorlatokban (Biró et al, 2012; Tállai et al, 2017).

Sok esetben azonban nem lehet ezeket a hatásokat teljes mértékben kihasználni, mivel számos biotikus és abiotikus környezeti stresztényező befolyásolja azok megvalósulását (Biró et al, 2000; Carvalhais et al, 2013; Kátai et al, 2015, Etesami és Beattie, 2018). Ezért a mikrobiális oltóanyagok „második generációjának" kombinációiban a mikroorganizmusokat speciálisan egy adott környezethez és a gazdanövényhez igazítják. (Taczmann-Brückner et al, 2005; Biró et al, 2000; 2012).

2.3.1. Foszforoldó mikroorganizmusok

A növényi tápanyagok felvehetőségére direkt és indirekt mechanizmusokat ismerünk. Direkt mechanizmus révén a mikroorganizmusok közvetlenül segítik a növények tápanyagellátását, például nitrogénmegkötéssel vagy foszforoldással (Graham és Vance, 2000; Khan et al, 2007). Ide tartoznak a széles körben elterjedt arbuszkuláris mikorrhiza (AM) kapcsolatok is, ahol a szimbionta gombák térbeli tápanyaghozzáférést biztosítanak a kapcsolt növényeknek a megnövekedett gyökérfelület révén (Smith és Read, 1997; Biró et al, 2000). Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák a növények gyökérfelszínén megtelepedő hifáikkal nagyobb felszíni megkötéssel és a talajban messzebbre elérve több foszfort és más esszenciális anyagokat képesek megkötni, mint a gyökerek önmagukban. Emellett az immobilis foszforformák felvehetőségét is növelik (Bagyaraj, 2002; Antunes et al, 2007, Takács et al, 2016).

A növényi tápanyagok felvételét segítő, indirekt vagy közvetett mechanizmusok közé soroljuk azokat a módszereket, amikor a mikroorganizmusok nem közvetlenül a tápanyagfeltáródásban, tápanyagfelvételben segítenek, hanem a növény valamilyen tulajdonságának megváltoztatásával érik el, hogy az több tápanyaghoz jusson. Ilyen mechanizmus például a növények gyökereinek stimulálása, a gyökérszőrök növekedésének fokozása, ezáltal térbeli terjedésének elősegítése a talajban. Így a gazdanövények az immobilis tápanyagokat messzebbről, nagyobb területről képesek felvenni. (Forde és Lorenzo, 2001; Dobbelaere et al, 2003). A rizoszférában a mikrobiális aktivitás stimulálja a gyökérváladékok képzését, ezáltal a növény még több tápanyagot képest oldat formába hozni (Meharg és Killham, 1995).

A növénynövekedést elősegítő mikroorganizmusok egyik csoportja a foszfátoldók vagy foszformobilizálók (PSM - Phosphate solubilizing microorganisms). Ezek olyan hasznos szervezetek, melyek képesek hidrolizálni és a növények számára elérhetővé tenni a szerves és szervetlen foszforformákat (Tawaraya et al, 2006). Ide tartoznak például a *Bacillus* fajok, a *Pseudomonas fluorescens és P. putida* is (Khan et al, 2009). Ezek a mikroorganizmusok képesek mobilizálni az nehezen felvehető foszforformákat (Bashan et al, 2013), például oldani képesek a természetes nyersfoszfátot, illetve foszfatáz enzim termelésével a szerves foszforformákat képesek szervetlen formákká bontani (Rodriguez and Fraga 1999; Idriss et al, 2002; Unno et al, 2005).

Számos *Bacillus* és *Pseudomonas* baktériumot izoláltak a talajból, különböző növények rizoszférájából, amelyek foszforoldó képességgel rendelkeznek (Mishra et al, 2014). *Achromobacter, Brevibacterium, Burkholderia, Corynebacterium, Escherichia freundii, Erwinia spp, Flavobacterium spp, Micrococus spp, Mycobactreium spp, Rhodococcus spp, Sarcina spp, Serratia phosphaticum* és *Xanthomonas spp.* baktériumfajokról is megállapították, hogy képesek

a talajban lévő foszfor oldására (Kour et al, 2020). De nemcsak baktériumok, hanem talajlakó gombák (*Penicillium spp*, *Aspergillus spp*.) és a növény gyökerével szimbiózisban élő mikorrhiza gombák is képesek a foszforfelvétel segítésére (Koide, 1991; Wallander et al, 2002; Hoeksema et al, 2010).

Az *Azotobacter chroococcum* baktériumok szabadon élő nitrogénkötő mikrobák, szárazság- és hidegtűrő képességgel (3-4 °C). Az *Azospirillum lipoferum* baktériumok asszociatív nitrogénmegkötő mikroorganizmusok, amelyek másodlagosan kölcsönhatásba lépnek az egyszikűek gyökereivel, és auxin, gibberellin, vagy citokinin hormonokat termelnek (Diamantidis et al, 2000). A *Pseudomonas putida* olyan sziderofór vegyületeket állít elő, amelyek vasionokat használnak a kórokozó szervezetek ellen (kompetitív gátlás), elősegítik a peszticidek lebomlását, semlegesítő hatásúak, és emellett fontos makro- és mikrotápanyagokat hoznak létre (Timmis et al, 2002).

A foszfátoldó szervezetek legelterjedtebb módszere, hogy enzimatikus úton az oldhatatlan foszforformákat a növények számára felvehető vegyületekké alakítják (Rossolini et al, 1998), ehhez kis molekulatömegű savakat termelnek, melyek kelátjai a szervetlen foszforvegyületekhez kapcsolódva oldható formákká módosítják azokat, miközben a közeg kémhatását csökkentik (Stevenson, 2005).

Különböző mechanizmusok játszanak szerepet ezekben a foszfátfeltáró átalakulási folyamatokban, mint az acidifikáció, kicserélődési reakciók vagy a kelátképzés (Relwani et al, 2008; Kumar et al, 2013; Sharma et al, 2013;). Ezen kívül a foszforoldó mikroorganizmusok másodlagos metabolitokat választanak ki, amik szintén növelik a növények produktivitását. Továbbá számos tanulmányban bizonyították növekedést segítő hatásukat, mivel fitohormonokat (pl. indolecetsav), illetve sziderofórokat képesek termelni, ezzel is bizonyítva, hogy biotrágyaként alkalmazhatók (Hariprasad and Niranjana, 2009; Naureen et al, 2017).

2. táblázat: Foszforoldásra képes mikroorganizmusok (PSM), melyek felhasználhatók potenciálisan talajoltásra (Kalayu, 2019 nyomán)

PSM genuszok	Genuszon belüli fajok	Irodalmi hivatkozások
Baktériumok		
Bacillus	*circulans*	Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; Satyaprakash et al, 2017; Kumar et al,2018;
	chitinolyticus, coagulans, fusiformis	Sharma et al, 2013;
	megaterium	Chen et al, 2006; Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Satyaprakash et al, 2017; Kumar et al, 2018;

	polymyxa	Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Kumar et al, 2018;
	pulvifaciens	Arora és Gaur, 1979;
	pumilus	Sharma et al, 2013;
	sircalmous	Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Kumar et al, 2018;
	subtilis	Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Kumar et al, 2018;
Thiobacillus	*ferrooxidans*	Sharma et al, 2013;
Pseudomonas	*calcis*	Sharma et al, 2013;
	canescens	Alam et al, 2002;
	fluorescens	Ghaderi et al, 2008; Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017;
	putida	Arora és Gaur, 1979; Pandey et al, 2006; Ghaderi et al, 2008; Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014;
	striata	Khan et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Kumar et al, 2018;
Pantoea	*agglomerans*	Son et al, 2006;
Rhizobium	*meliloti*	Sharma et al, 2013;
	leguminosarum	Afzal és Bano, 2008; Walpola és Yoon, 2012; Hajjam és Cherkaoui, 2017;
Mesorhizobium	*mediterraneum*	Peix et al, 2001;
Mikroszkópikus gombák		
Aspergillus	*awamori*	Mittal et al, 2008; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017; Selvi et al; 2017; Kumar et al, 2018;
	candidus	Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009;
	clavatus	Alam et al, 2002;
	flavus	Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Selvi et al, 2017;
	foetidus	Sharma et al, 2013;
	fumigatues	Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009;
	nidulans	Sharma et al, 2013;
	niger	Alam et al, 2002; Reddy et al, 2002; Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009; Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Selvi et al, 2017;
	ochraceus	Selvi et al, 2017;

	parasiticus, rugulosus	Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009;
	sydawi	Selvi et al, 2017;
	terreus	Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009; Sharma et al, 2013; Selvi et al, 2017;
	tubingensis	Reddy et al, 2002;
	versicolor	Selvi et al, 2017;
	wentii	Sharma et al, 2013;
Arthrobotrys	*oligospora*	Gulati et al, 2010; D'akur et al, 2014; Hajjam és Cherkaoui, 2017;
Penicillium	*bilaii*	Hajjam és Cherkaoui, 2017; Satyaprakash et al, 2017;
	balaji	Sharma et al, 2013;
	citrinum	Mittal et al, 2008;
	digitatum, funicolosum, lilacinium	Sharma et al, 2013;
	oxalicum	D'akur et al, 2014;
	rubrum, simplicissimum	Tarafdar et al, 2003; Aseri et al, 2009;
Trichoderma	*viride*	Sharma et al, 2013; D'akur et al, 2014; Selvi et al, 2017;
Sugárgombák		
Acinetobacter	*rhizosphaerae*	Gulati et al, 2010;
Streptomyces	*albus, cyaneus,*	Kumar et al, 2018;
Streptoverticillium	*album*	Kumar et al, 2018;
Cianobaktérium		
Calothrix	*braunii*	Sharma et al, 2013;

Kalayu (2019) egy összefoglaló táblázatban szemlélteti a foszforoldásra képes mikroorganizmusokat, melyek potenciálisan használhatóak talajoltásra. A táblázatban megjelölt hivatkozásokban vizsgálták azok foszforoldó hatását (2. táblázat): Khan és munkatársai szerint a talajban található mikroorganizmusok közül a baktériumok 1-50%-a rendelkezik P-oldó potenciállal, míg a gombáknak csupán 0,1-0,5%-a. A baktériumok közül is a legfontosabbként emelik ki a *Bacillus circulans, B. megaterium, B. polymyxa, B. sircalmous, B. subtilis, Pseudomonas fluorescens* és *P. striata* fajokat.

A legfontosabb mechanizmus, amely részt vesz a foszfátok oldásában, a szerves savak előállítása, főként az oxálsav, citromsav és a tejsav (Alam et al, 2002). Ezek a szerves savak képesek feloldani az ásványi foszfátokat anion-kicserélődés útján, vagy pedig a foszfátokhoz

kapcsolódó vas- és alumínium ionokkal képez kelátokat. A szerves savak jelenlétének hatásaként kimutatták, hogy egyes gyökérkolonizáló baktériumok, mint a *Rhizobium spp*. és a *Bradyrhizobium spp*. foszfátoldó aktivitása befolyásolta a táptalajok kémhatását (Hajjam és Cherkaoui, 2017). A szerves savak termelése a rizoszféra kémhatását is csökkenti a protonok és hidrogénkarbonátok felszabadulása révén (Selvi et al, 2017).

A Gram-negatív baktériumok több szerves savat képesek kibocsátani, mint a Gram-pozitív baktériumok, így a foszforoldó képességük is sokkal hatásosabb (Kumar et al, 2018). D'akur és munkatársai (2014) szerint az ásványi foszforoldásban a leghatékonyabb mikroorganizmusok az *Aspergillus awamori, Pseudomonas straita* és *Bacillus polymyxa* fajok. A talajtípustól függően változhat a foszforoldó baktériumok száma: száraz és félszáraz talajokban alacsony mennyiségben fordulnak elő, vélhetően a kevesebb szervesanyag és magasabb hőmérsékleti viszonyok miatt.

A mikroorganizmusok nagy része azonban nem foszforoldással segíti a növények foszforellátását, hanem az ásványi foszfort alakítják át szerves alakká, melyek ezáltal felszívódnak az élő mikrobák sejtjeibe. Az általuk elfogyasztott foszfor később tápanyagul szolgál majd a növényeknek, miután a foszfor felszabadul azok sejtjeiből (Alam et al, 2002).

A foszforoldó baktériumokat, mint biotrágyákat már régóta alkalmazzák. Például *Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium, Micrococcus, Flavobacterium, Achromobacter, Erwinia és Agrobacterium* inokulációval növelhető a felvehető foszfortartalom a termőtalajokban, ezáltal magasabb terméshozamot biztosíthatnak (Sharma et al, 2013; Satyaprakash et al, 2017). *Pseudomonas spp*. és *Rhizobium leguminosarum* fajokat együttesen használva oltóanyagként Afzal és Bano (2008) azt tapasztalták, hogy a búzán termésmennyiségét 20 %-kal növelték. Más kutatások is bizonyítják, hogy a *Rhizobium* és *Mesorhizobium* fajok nem csak a nitrogénkötésben segítik a növényeket, hanem a növények számára oldhatatlan foszforformákat is képesek oldatba vinni, ezáltal a növények számára elérhetővé tenni (Peix et al, 2001; Walpola és Yoon, 2012; Sharma et al, 2013).

Aspergillus és *Penicillium* fajoknál megfigyelték, hogy nem csak foszforoldásra képesek, hanem indolecetsavat is termelnek, ami viszont gátló hatással van a vizsgált növények hajtásnövekedésére. A *Penicillium* törzseknek nagyobb az auxintermelő képessége, mint a foszforoldó képessége, így a tanulmányban kisebb mértékben segítette a növények növekedését. Ezzel szemben a vizsgált *Aspergillus* fajok foszforoldása nagyobb mértékű, mint az auxintermelése, így az *Aspergillus* fajt tartalmazó oltóanyaggal kezelt növények hajtásnövekedése is nagyobb mértékű volt (Mittal et al, 2008).

2.4. A mikrobiális talajoltóanyagok eredete és használata

Több, mint száz éve, a rizobiumok felfedezése óta eltelt időben az oltóanyagok kereskedelmi forgalmazása széles körben elterjedt a fejlett országokban (Catroux et al, 2001; Deaker et al, 2004). Noha a PGPR-k alapvetően jelen vannak a talajokban, mégis sokszor a számuk nem elég nagy ahhoz, hogy versenyezzenek azokkal a baktériumokkal, amelyek széles körben elterjedtek a rizoszférában. Hogy ki tudják fejteni jótékony hatásaikat a növényekre, fontos, hogy ezen célzott mikroorganizmusok számát növeljük, amihez talajoltásra van szükségünk. Annak, hogy ezeket a hasznos baktériumokat be tudjuk integrálni a környezetükbe, egyik előfeltétele a növény növekedésének serkentésén túl az, hogy a mikroflórára gyakorolt hatásuk elhanyagolható legyen. Ezért fontos az izoláció és a karaktermeghatározás, így a bennszülött fajok jó eséllyel használhatóak oltóanyagként azokon a területeken, ahonnan előállították azokat (Taurian et al, 2012).

Vessey (2003) szerint a biofertilizer, közismert nevén baktériumtrágya, olyan anyag, amely élő mikroorganizmusokat tartalmaz, és amelyet vetőmagra, növényi felszínre vagy a talajba juttatva kolonizálja a rizoszférát vagy a növényt, és elősegíti a növekedést azáltal, hogy növeli a tápanyagok kínálatát vagy elérhetőségét a gazdanövény számára. Ez alapján a mikrobiológiai készítményeket mindaddig biotrágyának kell tekinteni, amíg azok javítják a növények tápanyagállapotát. Az utóbbi időben számottevően megugrott a kereslet a mikrobiális oltóanyagokra, köszönhetően a kiterjedt és mélyreható kutatásoknak, melyek jelentősen javították a hatékonyságukat és konzisztenciájukat (Thakore, 2006; Heidari és Golpayegani, 2012; Nkebiwe et al, 2016; Takács et al, 2016).

A fejlődő országok nagy részén azonban nem elterjedtek a talajoltóanyag-technológiák, főleg azok, melyek növény növekedését segítő PGPR szervezeteket tartalmaznak. Vagy csupán gyenge minőségű, házi készítésű szereket használnak, melyek csekély hatással vannak a termésmennyiségre (Bashan, 1998). Mégis számos kutatást végeztek fejlődő országokban, mint Indiában (Johri et al, 2003), Vietnámban (Cong et al, 2009), Argentínában, Mexikóban (Diaz-Zorita és Fernandez-Canigia, 2009; Fuentes-Ramirez és Caballero-Mellado, 2005) és Afrikában (Atieno et al, 2012; Mathu et al, 2012). Mindezt annak reményében, hogy az olcsó és könnyen előállítható oltóanyagok, mintegy megújuló energiaforrások, kiválthatják a drága és környezetszennyező műtrágyákat és peszticideket, és ezzel egy fenntartható gazdálkodás hozható létre (Bashan, 2014).

A szintetikus kemikáliákkal szemben a mikrobiális oltóanyagoknak számos előnye van (Berg, 2009):

- biztonságosabb a használatuk;
- csökkentik a környezeti károkat és kevésbé kockázatosak az emberi egészségre;
- célzottan hat a tevékenységük;
- kis mennyiségben is hatékonyak lehetnek;
- szaporodnak, de a növények, és az őshonos talajlakó mikroorganizmusok kontrollálják ezt a folyamatot;
- a fitokemikáliák gyorsabban bomlanak le, mint a hagyományos peszticidek;
- a rezisztencia kialakulásának lehetősége számos mechanizmus miatt csökken;
- beilleszthetők a hagyományos és integrált növényvédelmi technológiák közé is.

Ennyi előny mellett mégis számos akadálya van annak, hogy a hasznos mikroorganizmusokat oltóanyagokként használják fel: először is, meg kell oldani a nagyobb léptékű felszaporításukat. Továbbá gondoskodni kell a hosszú távú eltarthatóságukról, ami igen nehéz a Gram-negatív, de még a spóraképző Gram-pozitív baktériumok esetében is. Végül pedig a regisztrációs eljárás költséges és időigényes, és ez az a tényező, ami leginkább akadályozza az új termékek bevezetését (Ehlers, 2006). Ennek ellenére sok oltóanyag van kereskedelmi forgalomban a világon. Magyarországon az ökológiai gazdálkodásban használható termésnövelők, talajjavítók, tápanyag-utánpótló anyagok és növényvédőszerek listáját a 889/2008/EK rendelet melléklete tartalmazza (link_3). Hazánkban jelenleg száznál is többféle engedélyezett mikrobiológiai készítmény van forgalomban (link_1).

Talajoltóanyagként használt, leginkább elterjedt törzsek a *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, és a *Pseudomonas fluorescens* (Braun et al, 2010; Neilson és Allard, 2013). Hatásuktól függően ezek az oltóanyagok lehetnek biotrágyák, növényerősítők, fitostimulátorok vagy biopeszticidek (Lugtenberg et al. 2002, Berg, 2009). Magyarországon a 889/2008/EK rendelet I és II. melléklete szerint az oltóanyagokat tápanyag-utánpótló, talajjavító, illetve peszticid kategóriákba soroljuk (link_3).

Általában, ha a baktériumokat vivőanyag nélkül oltjuk be a talajba, a legtöbb PGPR populációszáma rohamosan csökkenni kezd. Emiatt rendszerint nehezen állítható be a szükséges baktérium egyedszám, a növény növekedési idejére azok nem képesek kellő mértékben felszaporodni (Bashan, 1986). A fő problémát az jelenti, hogy a talaj heterogén és a hozzáadott baktériumok nem mindig találnak az életben maradásukhoz megfelelő életteret. Ezeknek a védelem nélküli, idegen baktériumoknak versenyezniük kell a talajban már ott élő, és a

környezetükhöz jobban alkalmazkodott őshonos (abundáns) szervezetekkel. Emellett kiváló prédái a talaj ragadozó mikrofaunájának is (Berendsen et al, 2012).

Az oltóanyagok célja, hogy megfelelő mikrokörnyezetet biztosítsanak és hosszú távú fizikai védelmet nyújtsanak a kijuttatott baktériumoknak, megakadályozva ezzel a gyors egyedszám-csökkenést. A szabadföldi célra szánt oltóanyagokat úgy kell megtervezni, hogy ellenálljanak az edafikus és klimatikus tényezőknek és elérhetőek legyenek a növény számára, mikor szüksége van rá (Bashan, 1998). A folyékony oltóanyagok nagy előnye a szilárd halmazállapotúakhoz képest, hogy akár 2 évig is eltarthatók. Hátránya viszont, hogy ez az eltarthatósági idő főként alacsony hőmérsékleten érhető el, ami növeli a költségeket, emiatt például a fejlődő országokban nem is tudják igazán kihasználni (Bashan, 2014). Ezzel szemben a fejlett országokban igen elterjedtek, mivel magas sejtszámot tartalmaznak (általánosan $2x10^9$ sejt/ml), mely csökkenti a kijuttatási mennyiséget és növeli a hatékonyságukat (Schulz és Thelen, 2008). Ezen felül ezek az oltóanyagok szennyeződésmentesek, fokozott védelmet nyújtanak a környezeti stressz ellen és összehasonlítva a korábbi szilárd, tőzeg alapú vivőanyagokkal, jobb a hatékonyságuk szabadföldön (Singleton et al, 2002). A folyadékhoz általában szacharózt adnak adalékanyagnak, amely növeli a túlélési esélyeket főként a rizobiumoknál és a foszforoldó baktériumoknál (Taurian et al, 2010).

Az oltóanyagokat ki lehet juttatni közvetlenül a vetőmag felületére vagy a talajba oltva. Mindkét módszernek vannak előnyei és hátrányai, attól függően mekkora mennyiségben juttatjuk ki, milyen vetőmagot használunk, illetve a magokat milyen egyéb fizikai és kémiai hatásnak teszik ki (pl. koptatás /szkarifikálás/, drazsírozás, gombaölőkel, herbicidekkel és/vagy inszekticidekkel való kezelés) (Date, 2001).

Elterjedt technológia, hogy az oltóanyagot a mag felszínére juttatják ki, mivel egyszerű és könnyű alkalmazni. Ehhez a módszerhez kevés oltóanyag szükséges, és könnyen beintegrálható a vetési műveletek közé, nem jelent többletfeladatot. Mégis számos hátránya van ennek az eljárásnak: A magvak nagyságától függően nem biztos, hogy elegendő oltóanyag kerül rájuk, vagy a vetőmagvakról akár le is kophat az alkalmazás közben még a tényleges hatékonyság előtt. Előfordulhat, hogy csírázáskor a növények maguk emelik ki az oltóanyagokat a felszín fölé és azok a kiszáradás miatt pusztulnak el. Néhány vetőmag pedig a maghéjból kioldódó „antibakteriális” anyagokat bocsát ki, amik szintén az oltóanyagok baktériumszámát csökkentik, akárcsak a magcsávázó szerek (Bashan, 2014).

Ezzel szemben a talajba juttatott oltóanyagokat nem befolyásolják a vetőmag felszínén használt kemikáliák és a mag által kiválasztatott antimikrobiális anyagok, illetve az oltóanyag sem fogja rongálni a magburkot, nem fogja befolyásolni a csírázást. Hátránya viszont, hogy a kijuttatott baktériumok nem közvetlenül érintkeznek a maggal és az abból kibújó gyökérrészekkel. Így

védelmet kell nekik biztosítani az idő alatt, amíg a gyökér eléri az oltóanyagot. Ebben a folyamatban pedig igen nagy szerepe van a vivőanyagoknak. Másik hátránya a talajoltásnak, hogy ehhez a módszerhez több oltóanyag szükséges, ami megnöveli a kiadási költségeket. Nagyobb mennyiség esetén megnövekednek a szállítási és tárolási költségek is (Deaker et al, 2004).

A spórás bioeffektor törzsek igen toleránsak a környezeti stresszténye zőkkel szemben, ezért nagy számban alkalmazzák a mikrobiális oltóanyagokban (Hartmann et al, 2007). A Gram-pozitív *Bacillus* nemzetségbe tartozó baktériumok általánosan elterjedtek a talajban (Hallmann et al, 1999). Azon képességük miatt, hogy egy nyugalomban lévő, igen ellenálló sejttípust, úgynevezett endospórát képesek létrehozni, amely nagyfokú rezisztenciát mutat a környezeti stresszel, vagy a szárazsággal szemben, igen kedvelt törzs a talajoltóanyagok készítésekor (Weller, 1988; Dirks, 2004; Ibarra-Villarreal et al, 2021). Ugyanis az ellenálló endospóráknak köszönhetően nagy számban élnek túl az oltóanyagok előállítása során, épp ezért igen sokszor használják őket gazdálkodási rendszerekben (Piggot és Hilbert, 2004). Ezenkívül a spórás alak a tároláskor is igen kedvező, hiszen jelentősen növeli az eltarthatósági időt (Tiago et al, 2004). Számos esetben bizonyították, hogy a nemzetség igen sok tagja jelentős antimikrobiális tulajdonsággal rendelkezik: például a *Bacillus cereus* UW85 törzs sok növényi betegséget képes elnyomni a zwittermicin A antibiotikum előállításával (Silo-Suh et al, 1998).

A spórás baktériumok közül a *Bacillus subtilis* nem csak az egyik legintenzívebben tanulmányozott baktérium, de széles körben használják a mezőgazdaságban, valamint ipari fermentációs folyamatok során (Fritze, 2004). A közeli rokon *Bacillus* fajokat fenotípus alapján szinte lehetetlen megkülönböztetni. Emiatt a genotípusos elemzéssel egyre több további fajt azonosítottak, mint a *Bacillus amyloliquefaciens*-t, amelyet korábban *B. subtilis* egy altörzseként írtak le (Priest et al, 1987; Krebs et al, 1998; Fritze, 2004; Borriss et al, 2011). A *B. subtilis*-szerű törzsekről kiderült, hogy a gyökér és a hajtás kolonizálásakor különféle mechanizmusokkal javítják a növények egészségét és termésmennyiségét (Krebs et al, 1998; McSpadden Gardener, 2004; Blom et al, 2012), (3. táblázat).

3. táblázat: *Bacillus* fajok növénynövekedést-segítő tulajdonságai

Biokontroll hatás	• Kompetitív kolonizáció a növény felületén (Bais et al., 2004; McSpadden Gardener, 2004; Trotel-Aziz et al, 2008)
	• Antibiotikum-termelés (Asaka és Shoda, 1996; Silo-Suh et al, 1998; Yang et al, 2009)
	• A növény védekező mechanizmusának indukálása (Kloepper et al, 2004; McSpadden Gardener, 2004; Trotel-Aziz et al, 2008)

Biostimuláció és biofertilizáció	• Fitohormon-szerű anyagok termelése (Idriss et al, 2004; Arkhipova et al, 2005; Yao et al, 2006)
	• Foszfátoldás (Idriss et al, 2004; Arkhipova et al, 2005; Yao et al, 2006; Hariprasad és Niranjana, 2009;)
	• Biológiai N_2-fixáció (Rennie et al, 1983; Singh et al, 2019; Kour et al, 2020)
	• Káliummobilizáció (Figueiredo et al, 2016; Lalitha, 2017)

A *B. subtilis* csoport törzseinek főbb tevékenységei közé tartozik a fitohormonok (pl. auxin és citokinin) előállítása, valamint a szervetlen és szerves foszfátok oldása, ezáltal növelik a rizoszférából a foszfor hozzáférhetőségét és felvételét a gazdanövény számára (Idriss et al, 2004; Arkhipova et al, 2005; Yao et al, 2006). A *B. subtilis* biopeszticid hatását antagonizmussal, a gazdanövény tápanyagellátásának segítésével és a saját védekező mechanizmusának stimulálásával, illetve a növényi felületek kompetitív kolonizálásával fejti ki. (McSpadden Gardener, 2004; Trotel-Aziz et al, 2008). A *B. subtilis* hatékony a cellulóz lebontásában, az amiláz termelésében is, valamint antibiotikumok termelésével és jelentős kompetíciós képességével gátolja a fitopatogén mikroorganizmusok szaporodását (Yang et al, 2009). Továbbá Mumtaz és munkatársai (2017) bebizonyították, hogy kukorica rizoszférájából izolált *B. subtilis* és a *B. aryabhattai* fajok képesek az cink oldhatatlan formáját oldatba vinni, ezáltal segíteni a növények számára a felvételét.

A *Bacillus* fajok szisztematikus rezisztenciát és növekedést indukálnak a gazdanövényben: a baktérium hatására a paradicsom fokozott mennyiségben termel jázminsavat és etilént az egyik fő kórokozója, a paradicsomvész (*Phytophtora infestans*) ellen (Yan et al, 2002).

Többféle abiotikus és biotikus stressz elleni toleranciájával figyelemre méltó baktérium a *Bacillus xiamenensis*. Amna és munkatársai (2020) in vitro körülmények közt bizonyították a faj szárazság-, só-, hő- és nehézfémstressz elleni toleranciáját. Emellett megfigyelték, hogy antagonista hatással van több jelentős fitopatogén szervezetre, mint a *Colletotrichum falcatum, Fusarium oxysporum, Fusarium moniliforme, Rhizoctonia solani, Macrophomina phaseolina* vagy a *Pythium splendens* kórokozóra.

A *B. amyloliquefaciens* (Fukumoto, 1943) szintén egy növénykapcsolt, nem patogén talajbaktérium, mely igen nagyszámú antimikrobiális hatású metabolitot képes termelni (Chen et al. 2007). Más *Bacillus* fajokhoz hasonlóan képes endospórákat termelni, lehetővé téve hosszabb ideig a túlélést. A faj antifungális tulajdonságot is mutat, amelyet viszont befolyásolhat számos környezeti hatás, mint a nitrogénellátás (Caldeira et al, 2008). Mikrobiológusok sokáig vitatták, hogy a *B. amyloliquefaciens* a *B. subtilis* egy alfaja vagy egy különálló faj, majd 1987-ben

bebizonyították, hogy egy különálló baktériumfaj (Priest et al, 1987). Antifungális képessége a nem-riboszómális ciklusban kiválasztott lipopeptideknek (bacillomicin D és fengicin), míg antibakteriális aktivitása elsősorban a poliketidek termelődésének köszönhető (Chen et al, 2006). Emellett kis mennyiségben képes a nitrogénfixációra és a foszforoldására is (Singh et al, 2019; Kour et al, 2020). Az FZB42 (syn. *B. amyloliquefaciens subsp. plantarum;* Borriss et al, 2011) törzsének patogén elnyomóképességét és a növényre gyakorolt jótékony tulajdonságait már sokszor tanulmányozták. Például a saláta alsó részeinek barna elhalását okozó *Rhizoctonia solani* ellen kapható kereskedelmi forgalomban *B. amyloliquefaciens* FZB42 oltóanyag (RhizoVital H42, ABiTEP GmbH, Berlin, Németország). De nem csak patogén hatása kiemelkedő, hanem a kompetencia révén a növény több tápanyaghoz jut és erőteljesebb, egészségesebb egyedek fejlődnek (Chowdhury et al, 2013). Idriss és munkatársai (2002) megállapították, hogy a *Bacillus amyloliquefaciens* (FZB45) törzs képes lebontani az extracelluláris fitát vegyületet, javítva ezzel a kukorica növekedését fitát jelenlétében korlátozott foszforellátottság mellett is. Gowtham és munkatársai (2018) pedig bizonyították, hogy indukált rezisztenciát képes kiváltani csili paprikában az antraknózis ellen.

A *Bacillus thuringiensist* általában a talaj kártevőivel szemben használják, a talaj lúgosításával nagy mennyiségben csökkenti a kártevőket (Crickmore, 2006).

A *Bacillus megaterium* hatékony a foszformobilizálásban, a növekedési anyagok és a B12 vitamin termelésében, valamint a növényi maradványokat alakítja át humusszá (Trivedi és Pandey, 2008).

Ökológiai gazdálkodás esetén ezek szintén fontos tulajdonságok; ezért ezen bioeffektor kezelések alkalmasak lehetnek a biogazdálkodásba való beillesztésbe (Rodriguez és Fraga, 1999). A bioeffektorok sikeres alkalmazása különösen olyan ökológiai mezőgazdasági rendszerekben és fejlődő országokban lehet kiemelkedő jelentőségű, ahol az agrokemikáliák korlátozottan vagy egyáltalán nem alkalmazhatóak.

A kereskedelmi forgalomban már régóta kaphatók olyan oltóanyagok, amelyek a növény növekedését segítik és a kórokozók elleni védelmet biztosítják (link_1). De a klímaváltozás hatására idővel kulcsfontosságú szerepet kapnak azok a mikroorganizmusok is, melyek a növények stressztűrőképességét növelik (pl. só, szárazság, nehézfémek és patogének okozta stressz elleni védelem). Emellett a beltartalmi értékek javításában is jelentős eredményeket érnek el (Berg, 2009; Dudás et al, 2017a; Dudás et al, 2017b; Wass-Matics, 2018).

2.5. A talajoltást befolyásoló abiotikus és biotikus tényezők

A biológiai készítmények alkalmazását környezetbarátnak tekintik, és előnyben részesítik őket az agrokemikáliákkal szemben. A gazdálkodóknak a következő elvárásaik vannak a biológiai

készítményekkel szemben: a biokészítményeknek könnyen elérhetőnek, állandó és kiszámítható hatékonyságúnak, könnyen kezelhetőnek, megbízhatónak, minőségileg kifogástalan állapotúnak és költséghatékonyak kell lennie (Herrera-Estrella és Chet, 2004; Selvamukilan et al, 2006). Ahhoz, hogy ezeknek a kritériumoknak megfeleljenek, nem csak laboratóriumi és üvegházi teszteket kell végezni, hanem szabadföldön is vizsgálni kell a hatásosságukat, ahol ki vannak téve különböző összetett abiotikus és biotikus környezeti hatásoknak (Saleh-Lakha és Glick, 2007; Whipps és Gerhardson, 2007). A talajban található mikroorganizmus-összetétel változékonyságának egyik fő oka az őket ért környezeti hatások. Minden olyan változás, ami az optimálistól eltér, legyen az biotikus, vagy abiotikus stressz, befolyásolja a mikrobák egyedszámát, összetételét és jótékony tulajdonságaik hatásfokát (Djukic et al, 2018). Stressztényező minden olyan hatás, amely korlátozza az egyedek növekedését és szaporodását.

Abiotikus vagy élettelen tényezők közül számos befolyásolja a talajlakó organizmusok összetételét és számát. A mikroorganizmus-növény kölcsönhatás eredménye nagyban függ a növény genotípusától és számos környezeti tényezőtől, mint a hőmérséklet, a fényintenzitás és a különféle kémiai és fizikai talajtulajdonságok (Dinkelaker et al, 1995; Neumann, 2007).

Az abiotikus tényezők lehetnek (Terbe et al, 2011):

- edafikus tényezők (pl. talaj szerkezete, talaj kémiai tulajdonságai, talajok nedvességtartalma),
- klimatikus tényezők (pl. szárazság, hőmérséklet),
- mechanikai behatások,
- termesztéstechnológiai hibák, vagy
- toxikus anyagok által okozott stresszhatások,

Talajlakó szervezetek révén az edafikus (talajjal kapcsolatos) stresszfaktorok befolyásolják leginkább a talajoltást.

A talaj fizikai tulajdonságain, a talajszerkezet szilárd, folyékony és gáz halmazállapotának az arányát értjük. Ezek befolyásolják a talaj levegőzöttségét, a vízellátását, melyek mind hatással vannak az ott élő élőlényekre (Bihari, 2008; Juhos et al, 2015).

Az edafikus tényezőkön belül a kémiai tulajdonságok hatással vannak a mikroorganizmusok előfordulására és aktivitására (Tóth et al, 2011). Kémiai tényezőkhöz tartozik a talaj kémhatása (pH), sótartalma (EC) és a tápanyagtartalma. A baktériumok az enyhén lúgos és semleges kémhatású talajokat részesítik előnyben, míg savas közeget a gombák kedvelik jobban (Kátai, 2011).

A mikroorganizmusokat befolyásoló klimatikus tényezők a szélsőséges hőmérséklet és a szárazság. A talajoltóanyagok készítésekor e két tényező elleni tolerancia igen fontos (Bashan, 2014).

Emellett még számos antropogén környezeti hatásra visszavezethető károsodások is gátolhatják a talajoltás sikerességét. A talajokban található toxikus nehézfémek, xenobiotikumok, a rossz koncentrációban használt vagy rossz időben végzett kezelések mind-mind olyan problémák, amelyek az eredményességet befolyásolhatják.

Biotikus stressz például a tápanyagokért és élettérért folytatott kompetíció, a predáció vagy a parazitizmus. Mivel a talajban élő mikroorganizmusok összetétele folyamatosan változik, állandó harc folyik az élettér elfoglalásáért és a tápanyagok megszerzéséért. Épp ezért a kórokozók elnyomásához és a növény egészséges fejlődésének hozzájárulásához kulcsfontosságú a kijuttatott mikrobák kolonizációs képessége a gyökérzónában (Lugtenberg és Kamilova, 2009). A gyors növekedés és szaporodás révén a hasznos szervezetek kiszorítják az élettérből a káros szervezeteket, így azok nem képesek megtámadni a gyökér felszínét, nem tudnak a növénybe behatolni (Darvas et al, 2008). Ha gyenge a gyökérkolonizáció és azt követően az antimikrobiális metabolitok kiválasztása, szabadföldi körülmények közt az oltóanyag nem képes kifejteni megfelelően a hatását (Raaijmakers et al, 2009; Haas és Defago, 2005).

Az egykomponensű talajoltóanyagok számos kedvező tulajdonságát bizonyították már, mint a tápanyagfelvétel segítése, a növénynövekedés elősegítése, vagy a növény egészségügyi állapotának megőrzése (Yao et al, 2006; Avis et al, 2008). Ezeket az oltóanyagokat általában laboratóriumi vagy üvegházi körülmények közt vizsgálják, de a növény környezetében, szabadföldön lévő szervezeteket figyelmen kívül hagyják. Pedig azok a talajoltóanyagokkal számos interakcióba kerülhetnek, melyek lehetnek akár szinergisták, akár antagonista kapcsolatok (Leggett et al, 2001). Az újabb kutatásokban az ígéretes és egykomponensű oltóanyagban jó eredményeket elérő mikroorganizmusokat kombináltan használják a bonyolult kapcsolati rendszerek feltérképezésére (Whipps, 2001; Banerjee et al, 2006; Saxena et al, 2006). Ezeket a kombinációkat eddig mind a baktériumok, mind a mikorrhiza gombák között kutatták. Több nemzetség tagjainál találtak ún. mikorrhiza segítő baktériumokat (MHB - mycorrhiza helper bacteria), mint például az *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, és *Bacillus* (Halverson és Handelsman, 1991; Burdman et al, 1997; Villacieros et al, 2003).

A sikeres, hatékony és reprodukálható hatás eléréséért rendkívül fontos, hogy megismerjük a mezőgazdasági rendszerben lejátszódó komplex ökológiai kölcsönhatásokat (Welbaum et al, 2004).

Ahhoz, hogy ezt a bonyolult rendszert teljesen megérthessük, három dolgot kell figyelembe venni:

1) az egykomponensű talajoltóanyagok kapcsolatát és hatásmechanizmusát a talajjal és a gazdanövénnyel;
2) két- vagy többkomponensű oltóanyagok antagonista vagy szinergista hatásait, azok miként működnek egymással, milyen végeredményt produkálnak;
3) visszacsatolási válaszreakciók: a gazdanövényre és a környezetre hogyan hatnak az oltóanyagok (Dhurjati és Mahadevan, 2008).

Ezek az új megközelítések nagyon ígéretesek a növénytermesztés optimalizálására, az agrokemikáliák csökkentésére. Azonban a sok tényező miatt a kísérletek ismételhetősége igen instabil, sokkal több adatra van (lenne) szükség, hogy ezt a komplex ökoszisztémát, a bioeffektorok multifunkciós lehetőségeit, az egymással kölcsönhatásba lépő szervezetek hatásait jobban megértsük (Vestberg et al, 2004; Römheld és Neumann, 2006).

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A kísérleti helyszínek

A kísérleteket két helyszínen folytattuk le a 2014-2016. közötti időszakban. A szabadföldi kísérletek előzetes vizsgálataihoz a tenyészedény kísérleteket a Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar (1118. Budapest, Villányi út 29-43) Talajtan- és Vízgazdálkodás Tanszék (jelenleg Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kertészettudományi Intézet Agrárkörnyezettani Tanszék) fényszobájában végeztük el.

A szabadföldi kísérleteket a Szent István Egyetem Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság Ökológiai Gazdálkodás Ágazat (jelenleg MATE Kísérleti Üzem, Ökológiai Gazdálkodás Ágazat; 1238. Budapest, Túri István út 2) területén végeztük el, amely több, mint 20 éve minősített bioterület (2. ábra).

2. ábra: SZIE-KeTK Soroksári kísérleti Üzem és Tangazdaság Ökológiai Gazdálkodás Ágazata (jelenleg MATE Kísérleti Üzem, Ökológiai Gazdálkodás Ágazat) (GPS koordináta: 47.398820, 19.149270)

Soroksáron a talaj jellemzően homokos rétitalaj, gyenge vízmegtartó és jó vízelvezető képességekkel rendelkezik. A tenyészedény vizsgálatoknál a szabadföldi kísérlet helyszínéről származó talajmintákkal dolgoztunk. A pontmintákat az előírásoknak megfelelően a felső talajszint 0-20 cm-es rétegéből gyűjtöttük és két akkreditált laboratóriummal is előzetes talajanalízist végeztettünk (4. táblázat, 1 és 2. melléklet).

4. táblázat: 2014-es kiindulási talajminta vizsgált paraméterei (n.a: nem analizált)

Vizsgált paraméterek	Velencei Talajvédelmi Laboratórium	Bálint Analitika, Budapest
pH (KCl)	7,1	7,7
KA	24	26
Sótartalom [m/m %]	<0,02	<0,02
$CaCO_3$ [m/m %]	5,3	5,3
Humusz [m/m %]	1,46	1,2
NO_2+NO_3-N [mg/kg]	7,55	n.a.
P_2O_5 [mg/kg]	**769**	**611**
K_2O [mg/kg]	221	269
Na [mg/kg]	60,1	58,9
Mg [mg/kg]	121	283
Cu [mg/kg]	4,15	2,12
Zn [mg/kg]	5,14	3,02
Mn [mg/kg]	171	72,9
SO_4-S [mg/kg]	10,5	n.a.
Al [mg/kg]	8140	n.a.
As [mg/kg]	2,43	n.a.
B [mg/kg]	3,91	n.a.
Ca [mg/kg]	6790	n.a.
Cd [mg/kg]	<0,02	n.a.
Co [mg/kg]	3,46	n.a.
Cr [mg/kg]	7,01	n.a.
Cu [mg/kg]	4,73	n.a.
Fe [mg/kg]	9620	n.a.
Hg [mg/kg]	<0,06	n.a.
K [mg/kg]	1850	n.a.
Mg [mg/kg]	5150	n.a.
Mn [mg/kg]	286	n.a.
Mo [mg/kg]	<0,06	n.a.
Na [mg/kg]	170	n.a.
Ni [mg/kg]	8,99	n.a.
P [mg/kg]	673	n.a.
Pb [mg/kg]	7,38	n.a.
S [mg/kg]	234	n.a.
Se [mg/kg]	1,9	n.a.
Zn [mg/kg]	33,7	n.a.

A kísérleti időtartamra vonatkoztatott 3 év klimatikus viszonyait, az átlaghőmérsékletet és az összes csapadékmennyiséget, a soroksári meteorológiai mérőállomás adatai alapján állapítottuk meg, melyeket Dr. Szabó Árpád, egyetemi adjunktus (SZIE /MATE/-KETK, Rovartani Tanszék) bocsátott rendelkezésünkre. (5. táblázat).

5. táblázat: A szabadföldi kísérlet időtartamának össz csapadékmennyisége és átlaghőmérséklete havi lebontásban

Év	Hónap	Összcsapadék [mm]	Átlaghőmérséklet [^{0}C]
2014.	április	39.00	11.24
	május	124.80	15
	június	27.40	19.16
	július	160.60	21.53
	augusztus	141.80	19.33
Összecsapadék		**493.60 mm**	
Átlaghőmérséklet			**17.25 ^{0}C**
2015.	április	8.8	10.5
	május	89	15.91
	június	56	19.7
	július	48	22.76
	augusztus	84.2	22.31
Összecsapadék		**286.00 mm**	
Átlaghőmérséklet			**18,23 ^{0}C**
2016.	április	20.2	12.21
	május	127.2	17.87
	június	89.8	20.24
	július	150.4	21.32
	augusztus	104	19.62
Összecsapadék		**491.60 mm**	
Átlaghőmérséklet			**18,25 ^{0}C**

3.2. Felhasznált anyagok

A kísérleteinket Mobil paradicsomfajtával (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Mobil') végeztük. Ez a fajta közepes-késői tenyészidejű (130-145 nap), szabadföldi determinált növekedésű fajta. Lombozata erőteljes, nagy termőképességű. Bogyói nagyok, lapított gömb alakúak, 120-140 g tömegűek. Friss piaci, házikerti termesztésre és sűrítmény előállítására használják. Jó bogyóminősége, ellenállósága miatt igen közkedvelt (Balázs, 1994).

3.2.1. Mikrobiológiai oltóanyagok

A kísérlet során kereskedelemben is megtalálható biológiailag hatékony vagy effektív (bioeffektor) baktériumokat használtunk talajoltásra. Egy német oltóanyag (RV - RhizoVital 42 Fl; ABiTEP GmbH) (3. ábra) és egy, Magyarországon forgalomban lévő kétkomponensű oltóanyag (BR – Biorex, Chem-Trade Kft.) (4. ábra) összehasonlítását, illetve kombinációjának hatását vizsgáltuk, szem előtt tartva a bennük található mikroorganizmusok növénynövekedést serkentő tulajdonságait és foszformobilizáló képességüket (6. táblázat).

6. táblázat: A tenyészedény és szabadföldi kísérletek alatt felhasznált oltóanyagok (*RV*: RhizoVital, egykomponensű, német származású oltóanyag; *BR*: kétkomponensű /BR1 +BR2/, magyar származású oltóanyag)

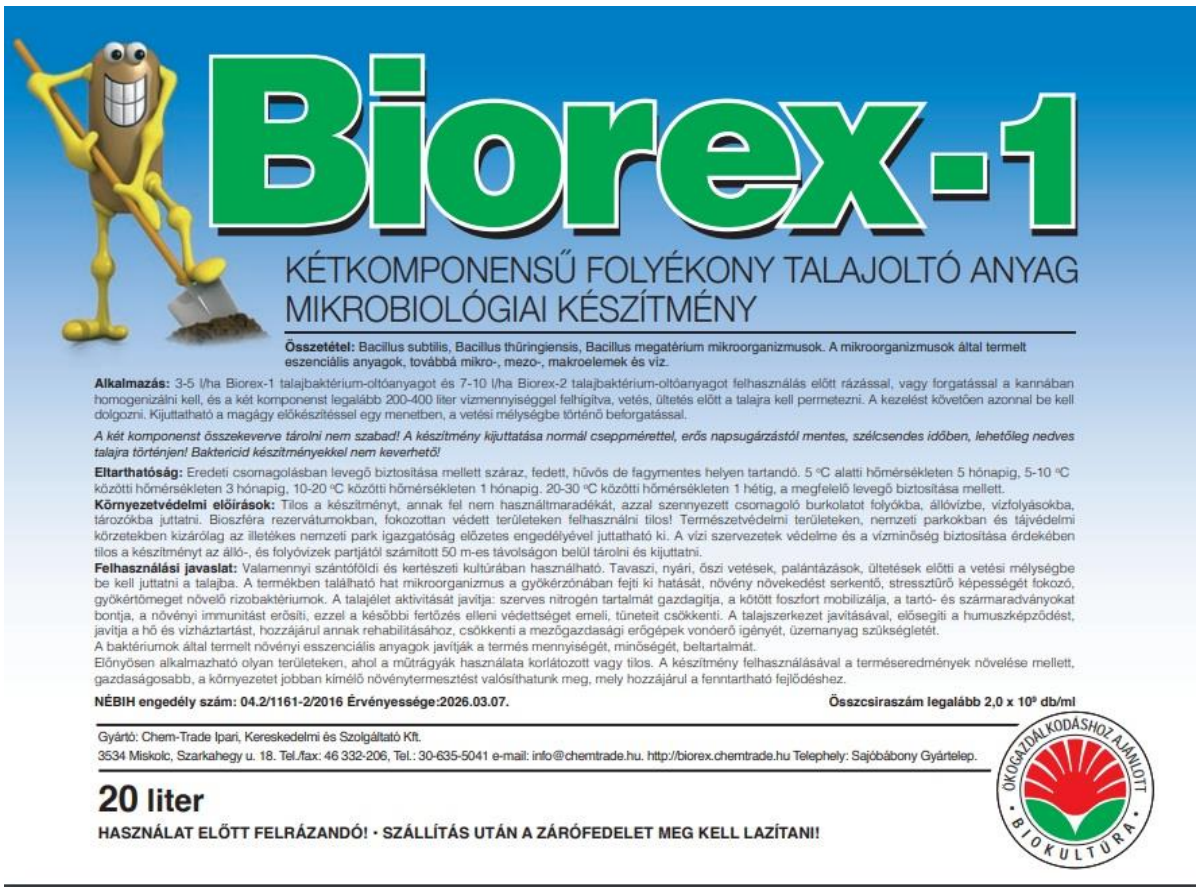
Oltóanyag jele	Mikrobiológiai fajok	Kereskedelmi neve	Sejtszám (CFU g-1)	Gyártó
RV (RhizoVital)	*Bacillus amyloliquefaciens* FZB42	RhizoVital 42 Fl	2.5×10^{10}	ABiTEP GmbH (Németország)
BR_1 (Biorex/1)	*Bacillus subtilis* *B. thüringiensis* *B. megaterium*	BIOREX	2×10^{10}	Chem-Trade Kft. (Magyarország)
BR_2 (Biorex/2)	*Azotobacter chroococcum* *Azospirillum lipoferum* *Pseudomonas putida*	BIOREX	2×10^{10}	Chem-Trade Kft. (Magyarország)

A RhizoVital a gyártó szerint serkenti a talajéletet. A benne lévő mikroorganizmusok képesek kolonizálni a gyökér felszínét és a gyökerek fejlődését segítik. Ezáltal stimulálják a növény növekedését és segítenek a vitalitás fenntartásában. Fokozzák a kezelt növények stresszhatásokkal szembeni ellenálló-képességét és gátolják a patogén szervezetek felszaporodását. A szer rendszeres használata biztosítja a talaj regenerálódását, az egészséges talajélet fennmaradását (link_2).

3. ábra: RhizoVital 42 FL német oltóanyag (ABiTEP GmbH, Németország)
(Fotó: Dudás, 2014)

A Biorex oltóanyag a gyártó szerint az alábbi tulajdonságokkal bír (link_4):

- Segíti az egészséges talajélet kialakulását.
- A levegő nitrogénjét megköti, növeli a talaj nitrogénfelvevő képességét.
- A talajban levő foszfort a növény számára felvehetővé teszi.
- Bontja a cellulózt, és gyorsítja a humuszképzést.
- A termelt fitohormonok segítségével stimulálja a gyommagvak és az árvakelésű magvak kelését szaporítva a hasznos zöldtrágya mennyiségét.
- Csökkenti a talaj fitopatogén gombafertőzöttségét.
- Gyéríti a kártételt okozó szervezeteket.
- Javítja a talaj szerkezetét, ezáltal víz- és levegő háztartását.



4. ábra: BIOREX 1 és 2 magyar készítmény leírása (Chem-Trade Kft., Magyarország) (Fotó: link_4)

3.3. A kísérletek beállítása

A kísérleteket két helyszínen végeztük el három egymást követő évben. Áprilistól augusztusig, 2 hét palántanevelés és 16 hét vegetációs időn keresztül fényszobában tenyészedény kísérletet állítottunk be. A kezeléseket szabadföldi körülmények között is elvégeztük, amely 9 hét palántanevelésből és 17 hetes tenyészidőszakból (márciustól szeptemberig) állt.

3.3.1. Tenyészedény kísérletek

A fényszobában a paradicsomtermesztéshez optimális körülményeket biztosítottunk: nappal (14 000 LUX, 14 óra megvilágítás) 22°C, éjszaka (megvilágítás nélkül, 10 óra) 18 °C hőmérsékleten, 40%-os vízkapacitású talajban neveltük a kísérleti növényeket (Herrera et al, 2008). A tenyészedényekben használt talaj a szabadföldi kísérlet helyszínéről (SZIE-KeTK /jelenleg MATE/ Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság Ökológiai Gazdálkodás Ágazata) származott. A tenyészedény kísérletek 18 hétig tartottak, áprilistól augusztusig.

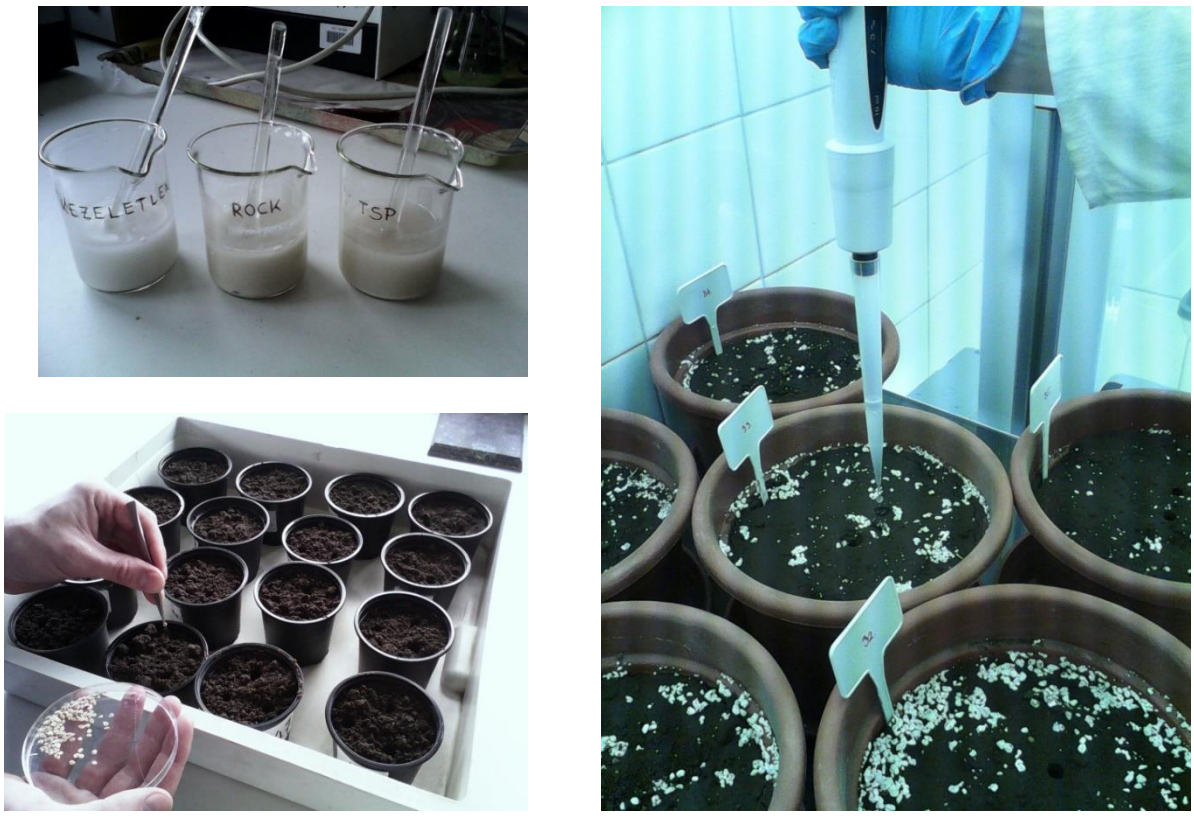
A tenyészedény vizsgálatokhoz a szabadföldi kísérleti helyszínről származó talaj és perlit 3:1 arányú keverékét használtuk. A szabadföldi területről pontminta alapján, véletlenszerűen gyűjtöttük be, majd homogenizáltuk a talajt, melyet a kísérlet megkezdéséig inkubáltunk. Az így összekevert szubsztrátból minden edénybe 2,5 kg-ot tettünk. A BIOFECTOR projekt által ajánlott mennyiségek alapján számoltuk ki a szükséges makrotápelemeket (7. táblázat).

7. táblázat Szükséges tápanyagok a tenyészedény kísérlet beállításakor

	Tápelem	Termék neve, összetétele	Koncentráció **[g tápelem/ g műtrágya]**	Kezelés **[mg műtrágya/ kg szubsztrát]**	Kezelés 1 edényre vonatkoztatva **[g műtrágya/ 2.5 kg szubsztát]**
Alap tápanyagok hozzáadása	Nitrogén 100 mg N/kg szubsztrát	Calcinit 15.5 % N + 19 % Ca	0.17	586	**1.46**
	Kálium 166 mg K/kg szubsztrát	Patentkali 30% K_2O + 18% S + 10% MgO	0.25	667	**1.67**
Alkalmazott foszformműtrágyák	Foszfor 50 mg P/kg szubsztrát	**TSP** 45% P_2O_5	0.20	250	**0.62**
	Foszfor 50 mg P/kg szubsztrát	**RP** 18% P_2O_5	0.079	636.7	**1.59**

Kétféle foszfor műtrágyát vizsgáltunk kutatásaink során: az egyik kezelésnél vízoldékony, könnyen felvehető tripla-szuperfoszfátot /TSP/ (Landor, Svájc), míg a másik kezelésnél egy lassan feltáródó, a növények számára nehezen felvehető foszforformát, Granuphos nyersfoszfátot /RP - rock phosphate/ (FiBL, Svájc) adtunk a szubsztráthoz. A kontroll növények talajához nem kevertünk foszfor műtrágyát. Az oltóanyagok szempontjából viszont a TSP-t és RP-t tartalmazó talajokat is kontrollként kezeltük.

Előcsíráztatás során minden edénybe 3 magot vetettünk és a kikelésük után 1-1 egyedet hagytunk meg. Fényszobai körülmények közt 18 hétig neveltük a növényeket a számukra optimális paraméterekkel. A talajt 40%-os vízkapacitáson tartottuk. Az oltóanyagokat (RV és BR) a gyártók utasítása szerinti koncentrációban adtuk a növényekhez két alkalommal: magvetéskor, illetve a palánták négyhetes korában (5.ábra). A kezeléseket négyszeres ismétlésben állítottuk be a 7. táblázat szerint.



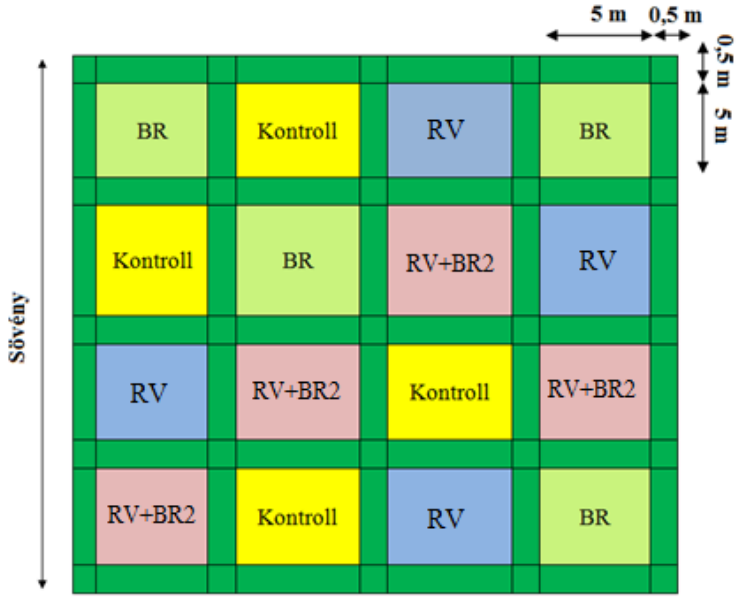
5. ábra: Tenyészedény kísérlet beállítása.
Balra fent: foszfor műtrágyák bekeverése (*Kontroll*: foszfor műtrágyát nem tartalmazó fiziológiás sóoldat *TSP*: tripla-szuperfoszfátot tartalmazó fiz. sóoldat, *Rock*: nyersfoszfátot tartalmazó fiz.sóoldat), balra lent: magvetés, jobb oldalt: első oltóanyagos kezelés
(Fotó: Dudás, Kotroczó, 2014)

3.3.2. Szabadföldi kísérletek beállítása

A tenyészedény kísérletek kontrollált körülmények között megvalósított eredményeit vettük alapul ahhoz, hogy azokat a szabadföldi, változatosabb időjárási, környezeti körülmények között is megvizsgáljuk. Ezt a folyamatot felskálázásnak (upscaling) nevezik. Ennek megfelelően a tenyészedény kísérletben legjobban teljesítő talajoltóanyagokat érdemes a szabadföldi kísérletben is vizsgálni. Az oltóanyagok eredményeségét az mutatja, ha a szabadföldi kísérletek során is ugyanolyan hatékony eredményeket kapunk, mint kontrollált körülmények közt. A szabadföldi kísérletekbe bevontunk egy kombinált kezelést is, ahol a magyar Biorex második komponensét kombináltuk a német eredetű bioeffektorral (RhizoVital). Feltételeztük, hogy ezek szinergista hatása még jobb eredményt tud elérni a paradicsomtermesztésben.

A szabadföldi kísérletekhez március közepétől 9 héten keresztül fűtetlen fóliasátorban neveltük a palántákat mindhárom évben. Az első talajoltást a palánták négyhetes korában végeztük el (7. ábra): minden növényhez 20 ml fiziológiás sóoldatban elkevert oltóanyagot adtunk az ajánlott dózisokban. A RhizoVital és Biorex oltóanyagok alkalmazása mellett egy kombinációt is kipróbáltunk: A Biorex-1 oltóanyag helyett a RV oltóanyagot kevertük össze az előírt 1:2 arányban a Biorex-2 komponenssel. Arra kerestük a választ, hogy a Biorex 1-ben lévő spórás *Bacillus* törzsek kiválthatóak-e a német oltóanyagban lévő *B. amyloliquefaciens* baktériummal, és ez milyen szinergista vagy antagonista hatásokat okoz a talajban, illetve a kezelt növényekben. Ezt az általunk kevert (RV + BR2) oltóanyagot hasonlítottuk össze a kétkomponensű Biorex (BR) oltóanyaggal. A beállított kezeléseket és vizsgált paramétereket a 8. táblázat szemlélteti, évenkénti lebontásban.

A szabadföldi parcellák 5x5 méteresek voltak és körülöttük 0,5 méteres közlekedőutakat hagytunk a könnyebb mozgás és az esetleges kontamináció elkerülése végett. Minden parcellába 50 paradicsomnövényt ültettünk, a kezeléseket pedig táblával jelöltük a parcellák szélein (8. ábra). A második talajoltás a 10. héten, a palánták szabadföldbe való kiültetésekor került sor azonos koncentrációban az ezt megelőző oltással. Az előzetes talajvizsgálatok alapján a kísérleti helyen a foszfortartalom elegendőnek bizonyult, és mivel a projektleírás sem tartalmazott egyéb megkötést, így kiegészítő tápanyagként csak 29 g/növény Vianot (15.5 % N) és 53 g/növény Patentkálit (30% K_2O + 18% S + 10% MgO) tettünk az ültetőgödrökbe a nitrogén és kálium utánpótlására. A fenológiai vizsgálatokat és a talaj mintavételezést 3 alkalommal végeztük el, míg a növény- és termésmintákból 1-1 alkalommal vettünk mintákat. Az első évi (2014) kezeléseket a 6. ábra mutatja.



6. ábra: Szabadföldi kezelések elrendezése (Soroksár, 2014)
Kísérleti parcella 5x5m, közlekedőút (pufferzóna) 0,5 m a parcellák közt.

7. ábra: Szabadföldi kísérlet első talajoltása 4 hetes palántakorban
(Fotó: Dudás, 2014)

8. ábra Parcellák kijelölése (bal oldal) és a 10 hetes palánták kiültetése szabadföldbe (jobb oldal)
(Fotó: Dudás, 2014)

8. táblázat: A tenyészedény és szabadföldi kísérletek kezelései és a dolgozatban bemutatott vizsgálatok 2014-2016. évben.
Jelmagyarázat: *Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *TSP+RV+BR2*: TSP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *RP+RV+BR2*: RP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj

	Tenyészedény		Szabadföld	
ÉV	Kezelések	Bemutatott vizsgálatok	Kezelések	Bemutatott vizsgálatok
2014	Kontroll	Talaj felvehető P-tartalma	Kontroll	Talaj felvehető P-tartalma
	TSP	FDA enzimaktivitás	RV	FDA enzimaktivitás
	RP	Növényi P-tartalom	BR	Foszfatáz aktivitás
	RV	Hajtáshossz	RV+BR2	Növényi P-tartalom
	TSP+RV	pH		Hajtás-és gyökértömeg
	RP+RV	Brix fok meghatározása		Bogyószám
	BR	Glükóz- és savtartalom (HPLC)		Bogyótömeg
	TSP+BR			pH
	RP+BR			Brix fok meghatározása
				Glükóz- és savtartalom (HPLC)
				Ép és beteg bogyók aránya
				Növényi P-tartalom
2015	Kontroll	Talaj felvehető P-tartalma	Kontroll	Foszfatáz aktivitás
	TSP	Foszfatáz aktivitás	RV	Bogyószám
	RP	MPN		Bogyótömeg
	RV	Bogyószám		Ép és beteg bogyó aránya
	BR	Bogyótömeg		Talaj felvehető P-tartalma
	RV+BR2			
	TSP+RV			
	TSP+BR			
	TPS+RV+BR2			
	RP+RV+BR2			
	RP+BR			
	RP+RV			

2016	Kontroll	FDA aktivitás	Kontroll	Talaj felvehető P-tartalma
	RV	Növényi P-tartalom	RV	Foszfatáz aktivitás
		Brix fok meghatározása		MPN
				Brix fok meghatározása

3.4. A BIOFECTOR projekt

Az Európai Unió 7-es keretprogram (FP7/2007-2013) által támogatott BIOFECTOR (www.biofector.info) projekt folyamán végeztük kísérleteinket, melyben 11 ország 20 kutatóhelye vett részt. A projekt a legújabb tudományos megközelítések alapján a talaj termékenységére, az egészséges növények növekedését támogató biológiai folyamatok megértésére és erőforrás hatékonyság kihasználására koncentrál (Uphoff et al, 2006). Ez magába foglalja a növények és környezetükben élő mikroorganizmusok egész rendszerének működését (Nadeem et al, 2013), valamint a különféle abiotikus és biotikus stressz hatására kialakuló növényi adaptációit és védekezési reakciót (Römheld és Neumann, 2006). A BIOFECTOR általános célként tűzte ki, hogy egy olyan integrált termesztési stratégiát dolgozzon ki, amelyek optimálisan ki tudja használni a bio effektorokban rejlő potenciált a mezőgazdasági termesztés területén magas termésminőségben és hozamszinttel a természeti erőforrások fenntartása mellett (Roy et al, 2006).

A kutatás célja a műtrágyák kiváltása, csökkentése az európai mezőgazdasági rendszerekben speciálisan adaptált bioeffektorok alkalmazásával. A vizsgálatok során a partnerek három különböző tesztnövényt (kukorica, búza, paradicsom) használva, kereskedelemben is kapható talajoltóanyagok hasznosítását vizsgálták tenyészedényes /üvegházi, illetve szabadföldi körülmények közt. A laboratóriumi és Európa szerte szabadföldön végzett kutatások biztosítják az oltóanyagok geoklimatikus alkalmazkodóképességének reprezentativitását.

A projekt egyik fő része volt a tápanyagfeltárás mellett a talajlakó kórokozók biokontrollja PGPR szervezetek alkalmazásával, például az antagonista *Pseudomonas* és *Bacillus*, mint a legismertebb nemzetségek, akik a növények növekedését fokozzák és közvetve részt vesznek a kórokozók elnyomásában (Kloepper és Schroth, 1978; Kloepper et al, 2004; Weller, 2007).

A mi feladatunk volt a növénynövekedés serkentése és az ásványi anyagok felvételének elősegítése, különös tekintettel a foszfor feltárási hatékonyságának javítására. Magyarországi partnerként a kísérlet során paradicsom (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Mobil') tesztnövényen vizsgáltunk kereskedelemben is kapható magyar, illetve külföldi spórás baktériumokat tartalmazó talajoltóanyagokat.

3.5. Vizsgálati módszerek

3.5.1. Mintavételezés

A talajokból kezelésenként átlagmintákat vettünk a tápanyag- és mikrobiológiai vizsgálatokhoz. A mintavétel mindig a rizoszférából történt. A törmelékek eltávolítása után a talajmintákat átszitáltuk, homogenizáltuk. A mikrobiológiai vizsgálatokhoz a mintákat felhasználásig feliratozott tasakokban +4 ^{o}C-on tároltuk, míg a tápelem-vizsgálatokra szánt mintákat előbb kiszárítottuk és utána csomagoltuk be, majd szobahőmérsékleten, nedvességtől mentes, száraz helyre tettük (Füleky, 2004). A tenyészedény és szabadföldi kísérleteknél 3-3 talajmintavétel történt (4, 10, 18. héten).

A kísérletek bontásakor növénymintákat vettünk: kezelésenként véletlenszerűen kiválasztott növényeket, ügyelve, hogy a parcellák széléről ne szedjünk mintát az esetleges kontamináció, vagy más befolyásoló tényező kizárása érdekében. A vegetatív részek vizsgálatait a tenyészidőszak alatt 3 alkalommal végeztük el, a palánták 10, 14 és 18 hetes korában (hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz, gyökértömeg mérése). Tápelemvizsgálat céljából levél- és gyökérrészeket gyűjtöttünk. A növényi részekről eltávolítottuk a talajmaradványokat, majd szárítás után daráló segítségével homogenizáltuk azokat (9. ábra). Felhasználásig légszáraz helyen, szobahőmérsékleten tároltuk őket feliratozott tasakokban. A beltartalmi értékek vizsgálatához paradicsombogyókat gyűjtöttünk, kezelésenként 4-4 növényről, növényenként 5 darabot. A mérésekig a terméseket -18 ^{o}C-on, fagyasztószekrényben tároltuk.

9. ábra Levél- és gyökérminták szárítása és feldolgozása
(Fotó: Dudás, 2014)

3.5.2. Talajvizsgálati módszerek

3.5.2.1. A talaj foszfortartalom-mérése

A talajok foszfortartalmának mérését a hatályos MSZ 20135:1999 szabvány szerint végeztük el ammónium-laktát (AL) kivonószeres módszerrel. A kivonószer pH értéke 3,75. Ebben az erősen savanyú közegben a lúgos közegben egyébként oldhatatlan kalcium-foszfátok is feloldódnak. A kivonathoz molibdát oldatot [$(NH_4)_2MoO4$] adtunk, mely egy kékes-zöld komplexet képez a kivonattal, így mérhetővé válik a foszfortartalom. Redukálószerként ón-kloridot [$SnCl_2$] és aszkorbinsavat használtunk a képződő szabadgyökök lekötésére. A foszfortartalom meghatározása a kivonatból spektrofotométerrel történt (Lambert-Beer törvény). A mérés előtt standard sort készítettünk és az ismert foszforkoncentrációjú oldatsorozattal a fényintenzitás és koncentráció közti összefüggést leíró egyenest vettünk fel (10. ábra). Az egyenes egyenletéből számoltuk ki a minták foszfortartalmát (Egnér et al, 1960). Figyelembe kellett vennünk azonban, hogy ez a módszer az erősen savanyú talajokon alul-, míg az erősen karbonátos talajokon túlbecsüli a felvehető foszfor mennyiségét (Sarkadi, 1975).

10. ábra Foszfortartalom mérése a kísérleti talajmintákból
Balra: talajminták bekeverve az AL (ammónium-laktát)-oldószerrel, jobbra: spektrofotométeres meghatározás
(Fotó: Kotroczó, 2015)

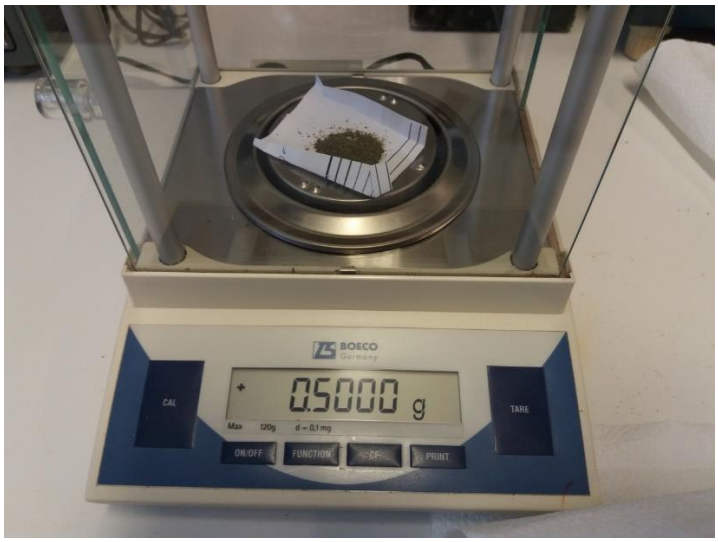
3.5.3. Növényvizsgálati módszerek

3.5.3.1. Fenológiai bélyegek meghatározása (bonitálás)

A kísérletek során 3 alkalommal fenológiai vizsgálatokat végeztünk, a palánták 10, 14 és 18 hetes korában. Feljegyeztük a növények aktuális hajtáshosszát, virágszámát, bogyószámát, a beteg és egészséges bogyók arányát. A kísérletek bontásakor növénymintákat gyűjtöttünk, majd tisztítás után a hajtást és gyökeret különválasztva megmértük azok száraz- és nedvestömegét.

3.5.3.2. Növényminták foszfortartalom-mérése

A tenyészedény és szabadföldi kísérletek lezárásakor a levél- és hajtásmintákból elemvizsgálatot végeztünk a MSZ-08-1783-28:1985 szabvány szerint, hogy megállapítsuk azok foszfortartalmát. Minden kezelést négyszeres ismétlésben végeztünk el. A minták előkészítése (11. ábra) során ismétlésenként átlagmintákat készítettünk, külön a gyökér- és külön a hajtásmintákból.



11. ábra: Növényminták kimérése analitikai mérlegen elemtartalom-vizsgálathoz (Fotó: Dudás, 2015)

3.5.4. Termésminták beltartalmi értékeinek a vizsgálata

3.5.4.1. Brix-fok meghatározása

A kísérletek bontásakor kezelésenként véletlenszerűen választottunk ki az egészséges, ép termések közül ismétlésenként 3-3 darabot. A mintákból zúzalékot készítettünk, szűrőpapíron átszűrtük, majd ismétlésenként összekeverve átlagmintákat készítettünk. Az MSZ EN 12143:1998 szabvány szerint 20 ^{o}C-on, RHW-25ATC típusú digitális refraktométerrel határoztuk meg a termések cukorfokát, másnéven Brix fokát.

A paradicsomnál cukortartalom mellett a savaknak szintén meghatározó szerepe van. A bogyó sav/cukor aránya nagyban befolyásolja annak ízérzetét. A karakteres ízvilágú termésekben mind a sav, mind a cukor nagy koncentrációban fordul elő, arányuk 8,5-10 körül a legmegfelelőbb. A savasság egyenesen arányos a termés kémhatásával. Az optimális pH paradicsom esetében 4-5. Minél alacsonyabb ez az érték, a bogyó annál savanyúbb, kesernyésebb ízű. MSZ EN 1132:1995 szabvány szerint mértük a szűrletek kémhatását 20 ^{o}C-on, ADWA AD12 digitális pH mérővel.

3.5.4.2. Cukor- és savtartalom meghatározása

A termések cukor – és savtartalmát nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC - High Performance Liquid Chromatography, vagy High Pressure Liquid Chromatography) módszerrel is mértük. A paradicsombogyókat homogenizáltuk, és mérésig -25 °C-on tároltuk azokat. Felolvasztás után az egyes homogenátum mintákból 2 g-ot hígítottunk 2 ml ionmentes vízben, 1 órán át sötét helyen rázattuk és 10 percig 10 000 fordulat / perc sebességgel centrifugáltuk (Hettich Mikro 22R). Ezután 1 ml felülúszót kipipettáztunk és szűrtünk 0.45-µm MILLEX®-HV Syringe Driven Filter Unit (SLHV 013 NL, PVDF Durapore) szűrőn keresztül, melyet a Millipore Co.-tól (Bedford, MA, USA) vásároltunk. WATERS nagy teljesítményű folyadékkromatográfot (Waters Co., 34 Maple Street, Milford, MA, USA) 2487 kettős λ abszorpciós detektorral (szerves savak meghatározásához), 2414 törésmutató detektorral (cukrok meghatározására), 1525 bináris HPLC szivattyúval, In-Line Degasser-t, oszloptermosztátot (40 °C-ra állítva) és 717 plus EMPOWER ™ 2 szoftverrel vezérelt Autosamplert használtunk a HPLC elemzéshez.

A szerves savak elválasztására Shodex KC-811 oszlopot (8 mm x 300 mm) és Shodex RSpak KC-G védőoszlopot használtunk. A mozgófázis 0,1% -os vizes foszforsavoldat volt. Az áramlási sebességet 1 ml / perc értékre állítottuk be, 600 ± 25 psi nyomással az oszlopon, 40 ^{o}C-on. Az oszlopra injektált térfogat 20 µl volt, a kimutatási intervallumot 20 percre állítottuk be. A detektálást 220 nm hullámhosszon végeztük. A standardok retenciós ideje 7,19 perc volt a citromsav és 9,10 perc volt az almasav esetében.

A cukrok szétválasztásához Sugar-Pak ™ oszlopot használtunk termosztátban 90 ^{o}C-on. A mobil fázis 0,0001 M vizes Ca-EDTA oldat volt. Az áramlási sebesség 0,5 ml / perc, ami 450 ± 10 psi nyomást eredményezett az oszlopon. Az injektált térfogat 20 µl volt, a detekció 30 percig tartott minden mintánál. A standardok retenciós ideje a következő volt: 10,93 perc a glükóz és 11,77 perc a fruktóz esetében.

Két ismétlést végeztünk. A koncentrációkat a megfelelő csúcsok területéről számítva, mg / 100 g-ban fejeztük ki.

3.5.5. Mikrobiológiai vizsgálati módszerek

3.5.5.1. Legvalószínűbb élő sejtszám meghatározása

A talajok élő sejtszámának meghatározásához MSZ 21470-77:1988 szabvány szerinti legvalószínűbb élő sejtszám-módszert (MPN - Most Probable Number) alkalmaztuk. Az MPN egy határhigításos eljárás, melynek során statisztikai alapon következtethetünk a vizsgált talajban

megtalálható mikroorganizmusok számára. A sejtszám meghatározása Hoskins-táblázat alapján történik.

3.5.5.2. FDA enzimvizsgálat

A talajmintákban lebontó, katabolikus aktivitást mutató mikroorganizmusok meghatározásához FDA (fluoreszcein-diacetát) enzimvizsgálatot végeztünk A folyamat során a színtelen FDA oldatot a talajban élő mikrobák enzimjei hidrolizálják, egy sárga színű végterméket képezve, mely aztán 490 nm hullámhosszon, spektrofotométerrel mérhető. Az enzimaktivitás segítségével következtethetünk a talajmintában élő össz mikroorganizmus biomasszára. (Schnürer és Rosswall, 1982a; 1982b).

3.5.5.3. Foszfatáz enzimvizsgálat

A foszfatázok forrásai a mikroorganizmusok, a növényi gyökerek és a talajban élő állatok. A foszforoldó mikroorganizmusok méréséhez foszfatáz enzimvizsgálatot végeztünk. Az eljárás a szintetikus szubsztrát (p-nitrofenol-foszfát) enzimatikus hidrolízisekor felszabaduló színes termék (p-nitrofenol) meghatározásán alapszik. A talaj foszfatáz aktivitás mérését a módszertani leírás szerint (Öhlinger, 1996) p-nitrofenol-foszfát alkalmazásával, 5 g talajmintából 1 órás inkubációt (37 ^{o}C-on) követően 410 nm-en történő spektrofotométeres méréssel állapítottunk meg.

3.5.6. Adatok kiértékelése

Az eredményeket IBM SPSS Statistics 22 statisztikai és Ms Office Excel programok segítségével értékeltük ki és ábrázoltuk azokat. Az adathalmazok normalitásvizsgálatát Kolmogorov-Smirnov teszttel végeztük el. A szóráshomogenitást F-próbával (Levene's teszt) ellenőriztük. A statisztikai elemzéseket egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) készítettük el: szóráshomogenitás teljesülésekor Tukey próbával végeztünk Post Hoc tesztet, míg a szóráshomogenitás feltételeinek sérülése esetén Games-Howell módszert alkalmaztunk, amit külön megemlítünk az eredmények kiértékelése során. Mindkét teszt a csoportok közti eltérések kimutatására szolgál. A szignifikancia szint (SzD) minden esetben 5% ($p<0,05$). A változók közti lehetséges összefüggéseket Pearson-féle korrelációanalízissel vizsgáltuk. A pozitív korrelációs együtthatók azt jelzik, hogy a változók arányosan együtt növekednek, míg a negatív értékek fordított összefüggést jeleznek. A statisztikai értékelések alapján a függvényeket és a táblázatokat Ms Office Excel 2016 programban készítettük el. Az ábrákon a betűk a szignifikáns különbségeket jelölik, illetve a szórásokat is feltüntettük rajtuk.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A 2014 és 2016 közötti időszakban tenyészedény (TE) és szabadföldi (SZF) kísérleteket végeztünk. Két, a kereskedelemben is kapható talajoltóanyagot alkalmaztunk:

- **RV:** RhizoVital 42 Fl (ABiTEP GmbH, Németország)
- **BR**: Biorex (Chem-Trade Kft, Magyarország)

A RV *Bacillus amyloliquefaciens*-t tartalmazó német oltóanyag, míg a BR (**BR1**: *Bacillus subtilis, B. thüringiensis, B. megaterium;* **BR2***: Azotobacter chroococcum, Azospirillum lipoferum, Pseudomonas putida* fajokat tartalmazó) magyar gyártmányú, két komponensből álló termék.

Vizsgálataink során arra kerestünk választ, hogy ezek az oltóanyagok milyen hatással vannak a paradicsom tápanyagellátására homokos talajon, optimalizált fényszobás (nappal 14 000 LUX, 14 óra megvilágítás, 22ºC hőmérsékleten; éjszaka 10 óra, megvilágítás nélkül, 18 ºC hőmérsékleten; a talaj 40%-os vízkapacitása mellett), illetve ökológiai termesztésű szabadföldi körülmények között. A tenyészedény kísérletek 16+2 hétig (palántaneveléssel) tartottak, áprilistól augusztusig, míg a szabadföldi kísérletek 17 + 9 hétig (palántaneveléssel) márciustól szeptemberig.

A statisztikai kiértékeléseknél a Kolmogorov-Smirnov teszttel végzett normalitásvizsgálatot minden esetben elfogadtuk ($p>0,05$).

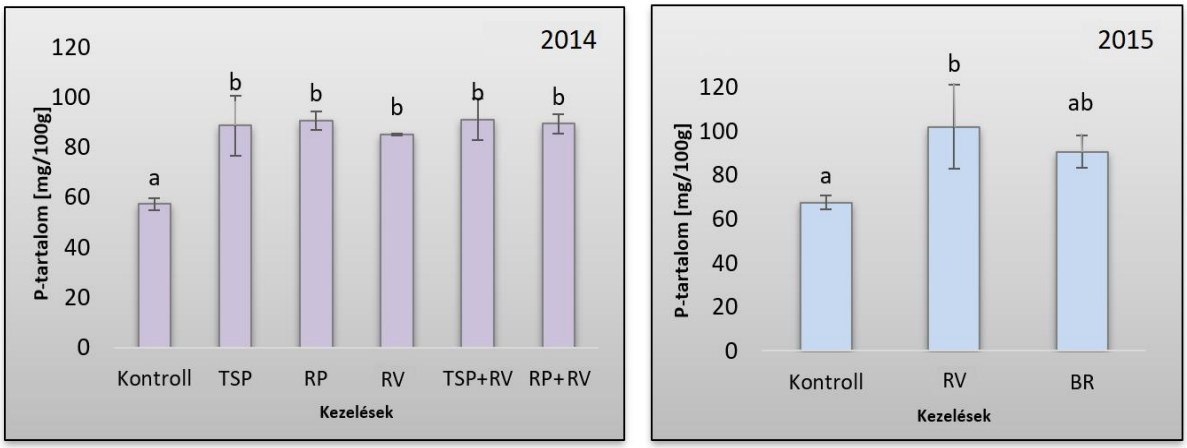
4.1. A mikrobiális oltások hatása a talajtulajdonságokra

4.1.1. A fizikai, kémiai tulajdonságok alakulása

4.1.1.1. Az oltások és a foszfor felvehetősége

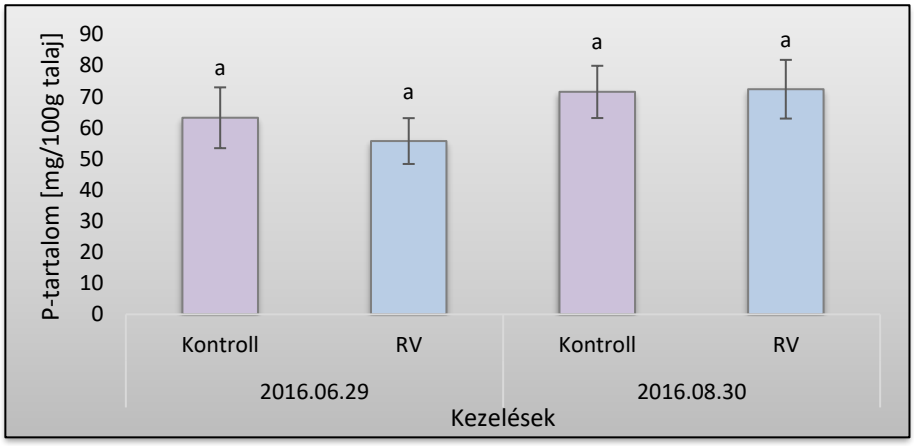
A projekt egyik alapelve volt, hogy az oltóanyagok pozitív hatással vannak a tápanyagfelvételre, különös tekintettel a kritikusnak mondható foszforellátottságra. Különböző mikroorganizmusok más-más közvetlen és közvetett mechanizmussal segíthetik a növények növekedését: például a gyökerek stimulálásával, foszforoldás révén több tápanyag biztosításával, kártékony szervezetek kiszorításával a rizoszférából (Kloepper et al, 1986; Glick et al,1994; Yao et al, 2006; Lalitha, 2017; Avis et al, 2008). Elvárásaink szerint a talajoltóanyagokban található mikroorganizmusok nem csak a vízben jól oldódó és könnyen felvehető tripla-szuperfoszfát (TSP), hanem az ásványi, nehezen felvehető nyersfoszfát (RP) növénybe jutását is nagymértékben elősegítik majd. Továbbá a magyar és német oltóanyagok (RV+BR2) kombinációját is alkalmaztuk, bízva a szinergista hatásuk pozitív megnyilvánulásában.

A tenyészidőszak alatt három alkalommal vettünk talajmintákat a tenyészedényekből. A kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy az oltóanyaggal kezelt talajokban szignifikánsan több volt a foszfortartalom a kontroll talajokhoz képest ($p<0,01$). Azokban a talajmintákban is több foszfort mutattunk ki, melyek csak oltóanyagot tartalmaztak, hozzáadott foszforműtrágyát nem (12. ábra, bal oldal). A német oltóanyag (RV) hatékonyabbnak bizonyult, mint a magyar (BR) ($p<0,05$), de mindkét oltóanyaggal nagyobb foszfortartalmat mértünk a kontroll talajhoz viszonyítva (12. ábra, jobb oldal).



12. ábra Talaj felvehető foszfortartalma (AL-P) tenyészedény kísérletben ($p<0,05$). Balra: 2014-es kezelések, jobbra: 2015-ös kezelések; SZIE (MATE), 2014-2015.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj;**
***RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
$F_{bal}[5;12]=1,759$ $p=0,196$;
$F_{jobb}[3;8]=3,36$ $p=0,78$

Ezzel szemben a szabadföldi kísérletek során nem tapasztaltunk összefüggést a különböző oltások és a foszfortartalom közt egyik évben sem. Sem a júniusi, sem az augusztusi mintavétel során nem volt kimutatható különbség a kezelt és kezeletlen talajok közt ($p= 0,471$) (13; 14. ábra).

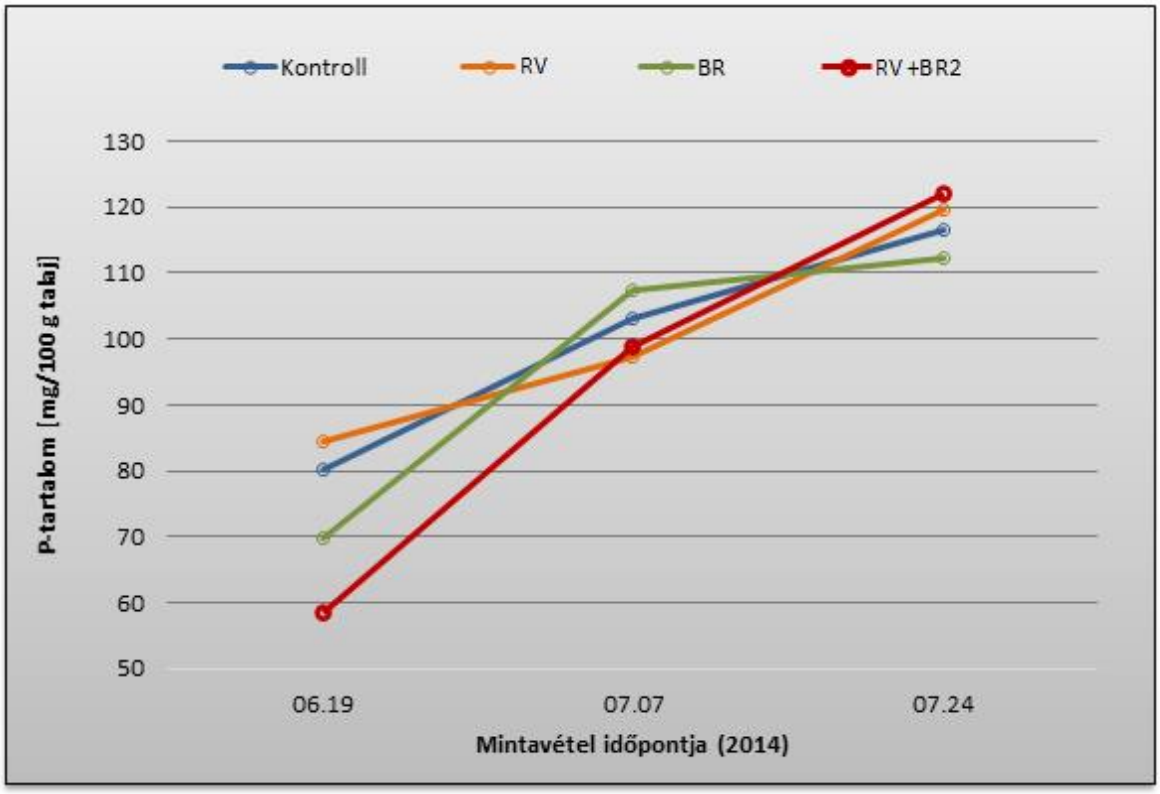


13. ábra Kezelt és kezeletlen talajok felvehető foszfortartalma (AL-P) szabadföldön (p=0,471). Soroksár, 2016.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
$F_{jún}[1;6]=0,245$ $p=0,638$
$F_{aug}[1;6]=0,868$ $p=0,387$

A tenyészidőszak alatt a magyar és német oltóanyag kombinációjával kezelt talajokban (RV+BR2) volt a legnagyobb ütemű a foszfornövekedés. Bár a júniusi mintavételben a kontrollhoz képest kevesebb volt a felvehető foszfor a magyar oltóanyagot tartalmazó talajokban (BR, RV+BR2), végig növekvő tendenciát mutattak a tenyészidőszak előrehaladtával. Mégis a tenyészidőszak végére a kezelt talajok foszfortartalma közel azonos volt a kontroll talajok elemtartalmával (14. ábra). A három időpontban vett talajminták egyikében sem találtunk szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. Az idő előrehaladtával a szigifikanciaszint egyre kisebb lett, az utolsó mintavétel során szinte azonos értékeket kaptunk az összes kezelés esetén (9. táblázat).

9. táblázat: Különböző kezelésű talajminták felvehető foszfortartalma (AL-P) közti szignifikanciaszint Tukey-próbával, szabadföldi körülmények közt. (Sig<0,05)
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
***RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj.**

Tukey teszt kezelések / mintavétel időpontja		06.19.	07.07.	07.24.
		Sig.	Sig.	Sig.
Kontroll	RV	,993	,976	1,000
	RV+BR2	,051	,994	,995
	BR	,702	,994	,998



14. ábra: Felvehető foszfortartalom (AL-P) alakulása a szabadföldi kísérlet során. Soroksár, 2014. *Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj

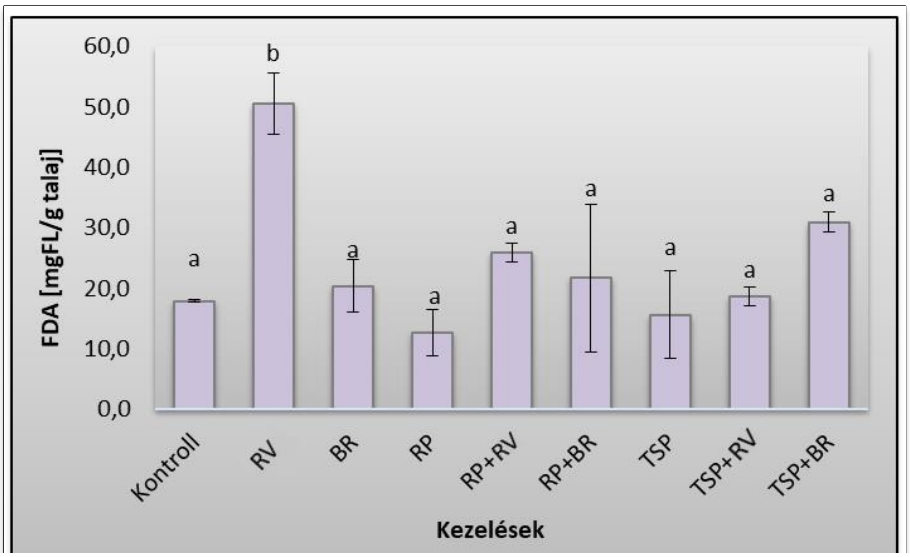
4.1.2. A biológiai tulajdonságok alakulása

A talajok mikrobiológiai aktivitását többféle módszerrel is vizsgáltuk.

A talajban lévő fluoreszcein-diacetát (FDA) aktivitásával a talajban élő mikroorganizmusok általános metabolikus tevékenységének a mértékét állapítottuk meg. A statisztikai elemzés során a szóráshomogenitás nem teljesült (F [9; 20] =4,697 p= 0,002), ezért a Post Hoc tesztet Games-Howell módszerrel végeztük el (10. táblázat). Bár az eredmények grafikonja (15. ábra) szerint a kontrollhoz és oltóanyaggal nem kezelt talajokhoz (RP, TSP) képest az oltott talajokban nagyobb volt az enzimaktivitás, statisztikailag csak a német bioeffektorral (RV) kezelt talajban volt szignifikáns a különbség (p=0,012) a tenyészedény kísérletben.

10. táblázat: Tenyészedényes FDA vizsgálaton alapuló enzimaktivitás statisztikai eredményei Games-Howell módszerrel végzett Post Hoc teszt alapján;
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj.**
SZIE (MATE), 2014.
(Sig<0,05)
(Szóráshomogenitás: F [9; 20] =4,697 p= 0,002)

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	**RV**	-32,6758*	3,85234	**,012**	-54,3279	-11,0237
	BR	-2,4711	3,67494	,998	-23,7365	18,7944
	RP	5,2540	3,07656	,760	-19,9958	30,5039
	RP+RV	-7,9890	7,63115	,960	-64,0147	48,0366
	RP+BR	-3,8146	5,10733	,995	-33,9528	26,3237
	TSP	2,2791	3,07731	,993	-22,9551	27,5134
	TSP+RV	-,7677	3,09614	1,000	-25,6239	24,0885
	TSP+BR	-13,0511	6,33000	,623	-55,1503	29,0480

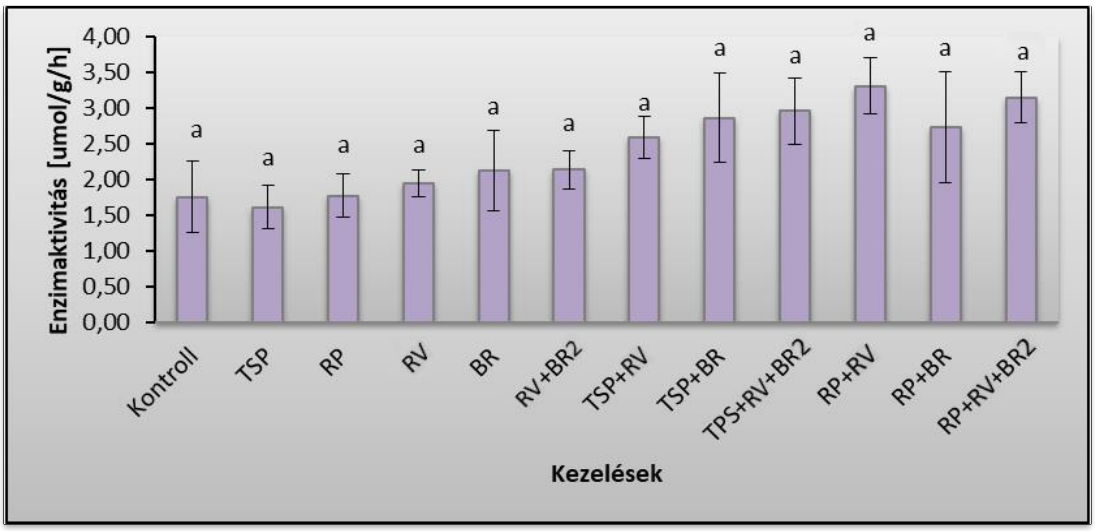


15. ábra FDA vizsgálaton alapuló enzimaktivitás tenyészedényes körülmények közt. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj**
Szóráshomogenitás: F [9; 20] =4,697 p= 0,002

A foszforoldó mikroorganizmusok kimutatására végzett foszfatáz aktivitás vizsgálata során a foszfort igen, de oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talajok (TSP, RP) a kontrollhoz képest semmi eltérést nem mutattak, míg az oltóanyagot tartalmazó talajokban megnövekedett enzimaktivitást mértünk. A szóráshomogenitás feltételeinek sérülése miatt itt is Games- Howell tesztet végeztünk (F [11; 36] =2,361 p=0,026). Az eredmények alapján az oltóanyagok nem voltak aktívak hozzáadott foszforforrás nélkül, ám műtrágya hozzáadásával aktivitásnövekedést tapasztaltunk. Különösen igaz volt a nyersfoszfáttal kezelt talajokban. Kiemelkedő volt a RV oltás hatása a nehezebben oldódó nyersfoszfát hozzáadásával (p=0,52), míg kisebb mértékben ugyan, de emelkedett foszfatáz aktivitást mutatott a RV+BR2 kombináció is RP jelenlétében (p=0,076), bár a nagy szórás miatt ezek az értékek nem érték el a szignifikanciaszintet (p<0,05) (11. táblázat; 16. ábra). Ez alátámasztja azt a szakirodalmi eredményt, miszerint, ha a talajban elegendő, könnyen felvehető foszforforma van jelen, a foszformobilizáló baktériumok kevésbé aktívak. Ám ha a talajban lévő foszfor felvétele gátolt, vagy nehezen felvehető foszforforrás van jelen, a foszfatáz aktivitása megnő és a baktériumok oldatba hozzák, mobilizálják azokat (Olander és Vitousek, 2000; Treseder és Vitousek 2001; Allison et al, 2007b).

11. táblázat: Foszfatázaktivitás Games-Howell Post Hoc teszttel végzett statisztikai eredménye tenyészedényes körülmények közt. SZIE (MATE), 2015. (Sig<0,05)
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+RV+BR2*: RP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+RV+BR2*: TSP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj**
(Szóráshomogenitás: F [11; 36] =2,361 p=0,026)

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	-,1915	,26731	,999	-1,7988	1,4159
	RV+BR2	-,3855	,28483	,931	-1,9247	1,1537
	BR	-,3731	,37879	,991	-2,2012	1,4549
	RP	-,0198	,29361	*1,000*	-1,5507	1,5111
	RP+RV	-1,5527	,31930	**,052**	-3,1194	,0140
	RP+RV+BR2	-1,3914	,30804	,076	-2,9335	,1507
	RP+BR	-,9824	,46283	,634	-3,3500	1,3853
	TPS+RV+BR2	-1,2003	,34097	,174	-2,8419	,4413
	TSP	,1397	,29169	*1,000*	-1,3919	1,6712
	TSP+RV	-,8303	,29178	,360	-2,3619	,7012
	TSP+BR	-1,1065	,40163	,371	-3,0689	,8559



16. ábra: Foszfatáz aktivitás tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2015.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+RV+BR2*: TSP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+RV+BR2*: RP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj**
(Szóráshomogenitás: F [11; 36] =2,361 p=0,026)

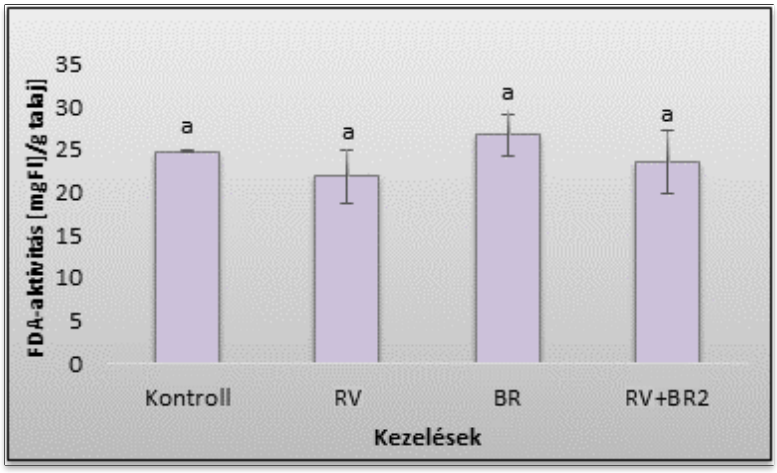
A legvalószínűbb élő sejtszám (MPN) spórás mikroorganizmusainak meghatározásához a mintákat vízfürdőbe tettük (10 perc 80 ^{o}C). A hőkezelés hatására a vegetatív sejtek elpusztultak, a spórák azonban 48 órás 28°C-os inkubálást követően életre keltek és 1-1 baktériumspórából 1-1 telep képződött, ami számolható volt. A kapott értékeket 1 g légszáraz talajra konvertáltuk. A spórás baktériumok sejtszám meghatározását határhigításos módszer és a statisztikai elemzések is segítették. A szóráshomogenitás feltételeinek sérülése miatt (F [11,12] =3,69 p<0,02) Games-Howell tesztet végeztünk. Az eredmények alapján szignifikáns különbség nem volt a kezelések között az összspórás baktériumok élő sejtszámában (p>0,05; 12. táblázat). Az MPN-módszer alkalmazhatóságának egyik alapfeltétele, hogy a sejtek eloszlása a folyékony táptalajban véletlenszerű legyen, és már egyetlen élő sejtet tartalmazó inokulum beoltása esetén is észlelhető legyen a szaporodás. Mivel a gyakorlatban legtöbbször egyik feltétel sem teljesül 100 %-osan, ezért a módszer csupán a csíraszámok értékének becslésére alkalmas (Tóth E. et al, 2018). A módszer hátránya, a nagy szóráskülönbség. Ennek mérséklésére az értékek tízes alapú

logaritmusát alkalmaztuk, de még így is nehéz volt a kezelések statisztikai összehasonlítása és a nagy szórás miatt a szignifikanciaszintek kimutathatósága is.

12. táblázat: Az összes kitenyészthető spórás baktérium mennyiségi adatainak statisztikai elemzése a tenyészedény kísérletben (logMPN) SZIE (MATE), 2015.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+RV+BR2:* RP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+RV+BR2*: TSP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; (Sig<0,05) (Szóráshomogenitás: F [11,12] =3,69 p<0,02)**

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	,9574	,50000	,753	-17,4125	19,3273
	RV+BR2	1,9881	,32313	,291	-9,8837	13,8599
	BR	2,1359	,13587	,116	-2,8560	7,1277
	RP	2,0612	1,39620	,857	-49,2348	53,3572
	RP+RV	1,0612	,60380	,790	-21,1225	23,2448
	RP+RV+BR2	1,4684	,19662	,242	-5,7555	8,6922
	RP+BR	1,1079	,65051	,803	-22,7919	25,0077
	TSP	1,2287	,22869	,330	-7,1733	9,6307
	TSP+RV	1,2117	,45329	,601	-15,4421	17,8655
	TSP+RV+BR2	1,2117	,45329	,601	-15,4421	17,8655
	TSP+BR	1,8646	,40718	,383	-13,0952	16,8243

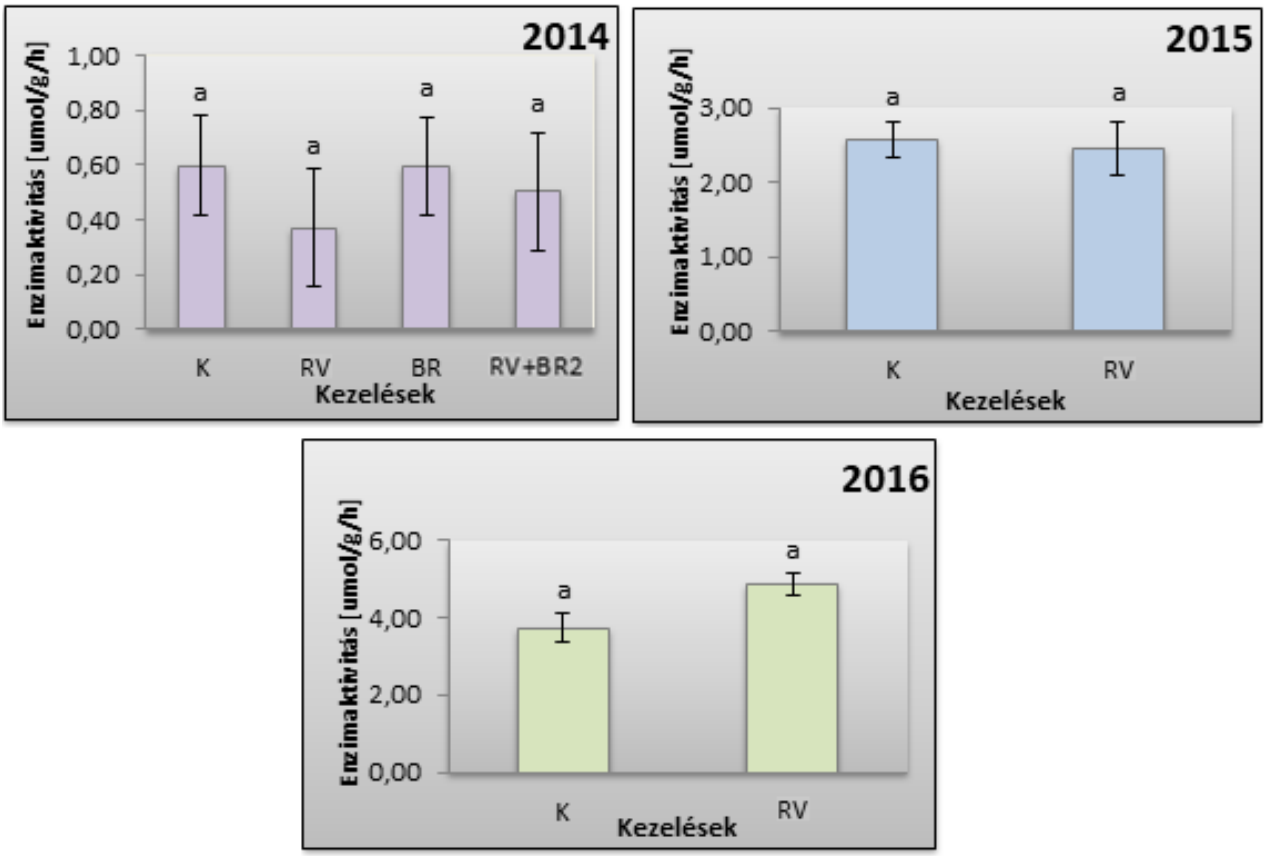
A szabadföldi enzimvizsgálatoknál azonban ugyancsak azt tapasztaltuk, mint a foszfortartalom-mérés esetében. Sem a fluoreszcein-diacetát (FDA) enzim aktivitásának mérése során, sem a foszfatáz aktivitás meghatározásakor, illetve az MPN vizsgálatok során sem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kezelések között (p>0,05). A fluoreszcein-diacetát enzimaktivitás során a kontroll talaj értékei közel azonosak voltak a német bioeffektor (RV), a magyar bioeffektor (BR), illetve az általunk kevert kombinációjával (RV+BR2) (17. ábra).



17. ábra Fluoreszcein-diacetát aktivitás szabadföldi kezeléseknél. Soroksár, 2014. *Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; (Szóráshomogenitás: F [4; 10] =4,119 p=0,052)

Szabadföldön az első évet követően a Biorexet és kombinációját nem vizsgáltuk, mivel a 2014-es évben nem volt kiemelkedő teljesítményű, és a projekt keretein belül más vizsgálatok is folytak a kijelölt parcellákon (8. táblázat).

Akárcsak az FDA mérés esetén, a foszfatáz aktivitás eredményei sem mutattak különbséget a kontrollhoz képest egyik évben sem. Bár a 2016-os évben a RV aktivitás magasabb volt, az előző évekhez képest a kontrollhoz viszonyítva, de a szignifikanciaszintet nem érte el (p_{2014}>0,05; p_{2015}=0,606; p_{2016}=0,0501; 18.ábra). A szignifikancia hiánya két okra vezethető vissza. Az előzetes talajvizsgálatok során megállapítottuk, hogy a talaj foszforban jól ellátott (4. táblázat), így a foszformobilizáló baktériumok nem aktiválódnak nagy mennyiségben. Valószínűsíthető az is, hogy a szabadföldi, őshonos mikroorganizmusok kiszorítják a hozzáadott mikrobákat, így az oltóanyag nem képes olyan hatást kifejteni, mint a tenyészedényes körülmények között, inkubált talajban. Különösen igaz ez az általunk vizsgált szabadföldi területre, amely 20 éve minősített bioterület, ezáltal az abundáns szervezetek nagymértékű jelenléte még inkább háttérbe szorítják az oltóanyaggal bejuttatott mikroszervezeteket.



18. ábra: Foszfatáz aktivitás szabadföldi körülmények közt, évenkénti lebontásban. Soroksár 2014-2016.
***K*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{2014}[3; 12] = 0,031 p=0,992
F_{2015} [1; 6] = 0,328 p= 0,588
F_{2016} [3;12] =1,383 p=0,295

4.2. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsomnövényre

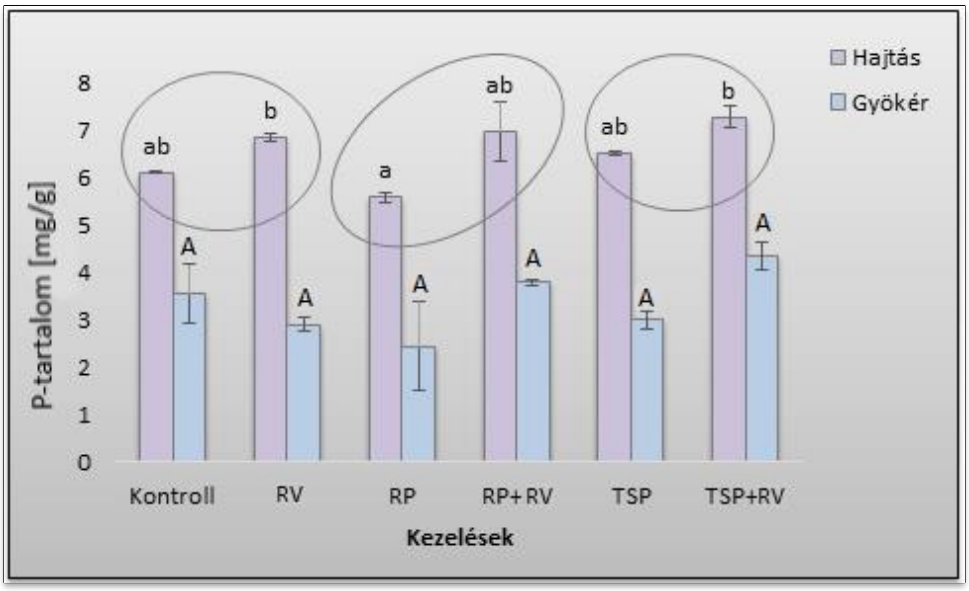
A foszfor a paradicsom számára fontos és kritikus makroelem. Hiányában számos élettani tünet jelentkezik, mint a levélhullás, felkopaszodás, gyenge gyökérzet, késői virágzás és fejletlen termések. Azonban vegetatív részeken a hiánytünetek nem olyan látványosak, a növényi részek nem fejlődnek olyan mértékben, mint a generatív részek (Terbe et al, 2011).

4.2.1. Az egyedi mikrobás oltások hatásai

A tenyészedény kísérletek során nem találtunk számottevő eltérést a növények fejlődésében: sem a levélszám, sem a hajtás- és gyökérhossz, sem a virágok számában nem volt szignifikáns különbség. Bár a növény morfológiájában nem mutatkozott különbség a kezelések hatására, a növényi elemtartalom vizsgálatakor bebizonyosodott, hogy a tenyészedényes körülmények közt a

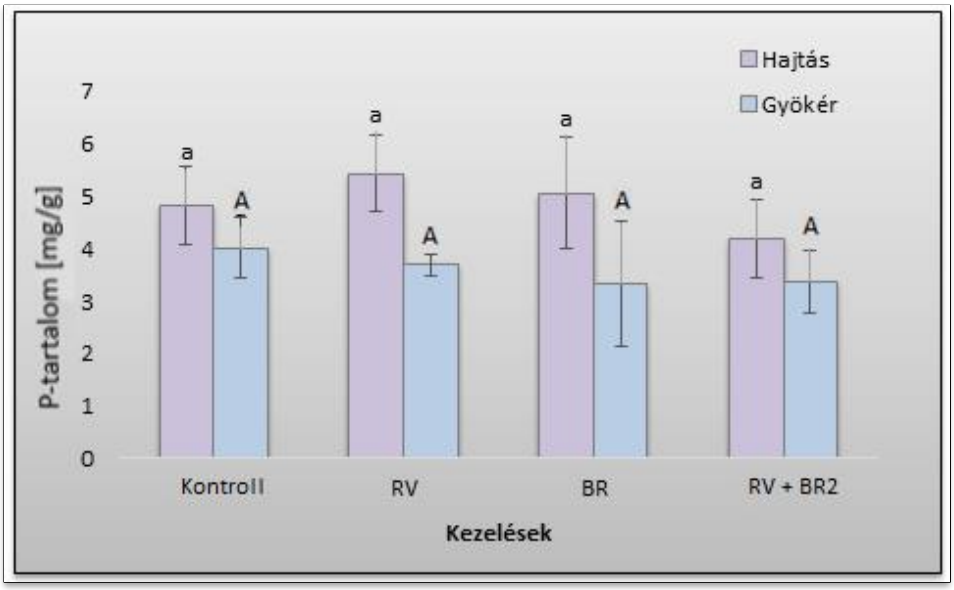
növények több foszfort képesek felvenni az oltóanyagok segítségével, mint nélkülük. Az elemtartalom-vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy a német eredetű bioeffektor (RV) baktériummal kezelt növények hajtásaiban több foszfor található, mint a kezeletlen egyedekben (19. ábra).

Minden kontrollhoz képest (kezeletlen kontroll, nyersfoszfát kontroll és tripla-szuperfoszfát kontroll) nagyobb foszformennyiséget mértünk a RV-vel kezelt egyedeknél, bár ez statisztikailag nem volt szignifikáns $SzD_{5\%}$ hibaértéknél (p_{K_RV}=0,058; p_{RP_RP+RV}=0,052; p_{TSP_TSP+RV}=0,063). Hiába adtunk plusz foszforműtrágyát a talajokhoz, azok önmagában nem változtattak a növények foszfortartalmán. Ennek lehetséges oka, hogy a foszformennyiség elegendő volt már a kiindulási talajban is, nem volt szükség plusz kiegészítésre, a felvehetőséget más tényező akadályozta. Bár statisztikailag nem volt kimutatható különbség, az ábrán látszik, hogy a bioeffektorral kezelt növények minimálisan több foszfort tartalmaztak, mint a kontroll növények, tehát a foszforfelvétel gátlása a gyors lekötődésnek tulajdonítható, amit minden kezelésnél javítottak a bioeffektorok. Valószínűleg a kis mennyiségi eltérés miatt nem volt látható morfológiai különbség az egyes kezelések között: műszeres méréssel kimutatható ugyan a különbség, de a növényben ez nem okoz szabad szemmel látható változásokat.



19. ábra: A paradicsomnövények foszfortartalma hajtásban és gyökérben mérve, tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj;**
***TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
$F_{hajtás}$ [5; 6] = 0,916 p= 0,254
$F_{gyökér}$ [5;6] = 0,986 p=0,998

Ugyan a tenyészedény kísérletek során csupán csak kis mennyiségű eltérést találtunk a kezeletlen és kezelt egyedek közt, szabadföldi körülmények közt viszont semmiféle változást nem tapasztaltunk (p>0,05). Mind a gyökér-, mind a hajtásvizsgálatok során közel azonos mennyiségben fordult elő foszfor a növényekben (20. ábra), illetve a német és magyar oltóanyag 2. komponensének kombinációja (RV+BR2) pedig még kevesebb foszfort eredményezett. Felmerült a kérdés, hogy vajon a két oltóanyag nem szinergista, hanem inkább antagonista tulajdonságokkal bír egymással szemben?



20. ábra: A paradicsomnövények foszfortartalma hajtásban és gyökérben mérve, szabadföldi körülmények között. Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
$F_{gyökér}$ [5; 12] =2,408 p= 0,099
$F_{hajtás}$ [5;12] =1,682 p=0,213

4.2.2. A kombinált mikrobiális oltások hatásai

Kutatásaink során vizsgáltuk azt is, hogy a különböző oltóanyagok kombinációjával vajon erőteljesebb hatást érhetünk-e el a paradicsom terméshozamára és a vizsgált enzimaktivitásokra? A kérdés megválaszolására a magyar gyártmányú oltóanyag első komponensét (Biorex-1) a német eredetű bieffektorral (RV) helyettesítettük. A Biorex-1 *Bacillus subtilis, B. thüringiensis* és *B. megaterium* fajokat, míg a német RV oltóanyag *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 baktériumtörzset tartalmaz.

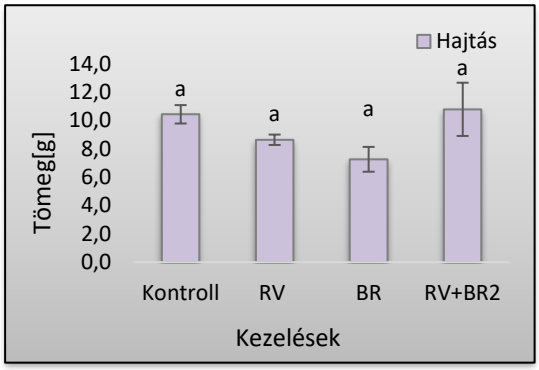
Tenyészedényes körülmények közt az oltáskombináció szignifikánsan nagyobb foszfatáz aktivitást mutatott nehezen felvehető foszfor műtrágya jelenlétében (RP+RV+BR2) az egyes oltáskombinációhoz (RV; p=0,035) és a foszfor műtrágyát tartalmazó kontroll talajokhoz (TSP; p= 0,012) (RP; p=0,021) képest (13. táblázat; 16. ábra).

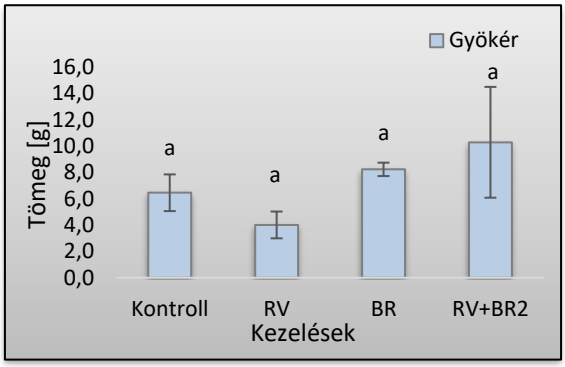
13. táblázat: Általunk alkalmazott oltáskombináció (RV+BR2) foszfatáz aktivitása nehezen felvehető foszforműtrágya jelenlétében, Games-Howell Post Hoc teszttel végzett statisztikai eredménye tenyészedényes körülmények közt. SZIE (MATE), 2015. (Sig<0,05)
Kontroll: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; RV: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; RV+BR2: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; BR: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; RP: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; RP+RV: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; RP+RV+BR2: RP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; RP+BR: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; TSP+RV+BR2: TSP műtrágyával ellátott, RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; TSP: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; TSP+RV: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; TSP+BR: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj-
(Szóráshomogenitás: F [11; 36] =2,361 p=0,026)

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
RP+RV+BR2	**RV**	1,1999*	,19970	**,035**	,1071	2,2927
	RV+BR2	1,0059	,22260	,073	-,0944	2,1062
	BR	1,0182	,33452	,299	-,7066	2,7431
	Kontroll	1,3914	,30804	,076	-,1507	2,9335
	RP	1,3716*	,23374	**,021**	,2387	2,5044
	RP+RV	-,1613	,26528	1,000	-1,4397	1,1170
	RP+BR	,4090	,42736	,990	-2,0033	2,8213
	TPS+RV+BR2	,1911	,29101	1,000	-1,2400	1,6222
	TSP	1,5311*	,23131	**,012**	,4064	2,6557
	TSP+RV	,5610	,23144	,496	-,5640	1,6861
	TSP+BR	,2849	,36018	,998	-1,6248	2,1946

Ezzel szemben szabadföldi körülmények közt ez a pozitív hatás már nem mutatkozott meg. A 17. és 18. ábrán látható, hogy a kombináció FDA és foszfatáz aktvitása nem volt kiemelkedő az egykomponensű oltóanyagokhoz képest. Bár a talajminták közül a RV+BR2 kombinációval kezeltnek volt a legnagyobb a felvehető foszfortartalma szabadföldön a tenyészidőszak végére, szignifikáns különbséget szintén nem tapasztaltunk más kezelésekhez képest (p>0,05) (9. táblázat; 14. ábra).

A paradicsom morfológiai vizsgálatainál szintén megállapítottuk, hogy a kombinált oltóanyaggal kezelt növények statisztikailag nem mutattak számottevő különbséget az egykomponensű talajoltással szemben. Mivel a szóráshomogenitás feltételei nem teljesültek, ezért Games-Howell teszttel végeztük el a varianciaanalízist a hajtástömeg és a gyökértömeg esetében (F_h[5; 12]= 0,808; p_h<0,05) és (F_{gy}[5; 12]= 0,602 p_{gy}<0,05). Bár a 21. ábrán minimális különbség mutatkozik a kombináció javára mind a gyökér, mind a hajtás száraztömegében, de a nagy szórás miatt a Games-Howell teszt nem mutatott szignifikáns különbséget (p>0,05), (14 és 15. táblázat).





21. ábra: Száraz hajtás- (bal) és gyökértömeg (jobb) tenyészedény kísérlet bontásakor paradicsom tesztnövénnyel. Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_h [5; 12] = 0,808 p_h<0,05
F_{gy} [5; 12] = 0,602 p_{gy}<0,05

14. táblázat: Games- Howell Post Hoc teszt száraz hajtástömeg statisztikai vizsgálatához. Soroksár, 2014. (Sig<0,05)
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	1.8000	.52839	.411	-5.8233	9.4233
	RV+BR2	-.3500	1.40730	1.000	-31.9475	31.2475
	BR	3.1800	.77201	.289	-5.7323	12.0923

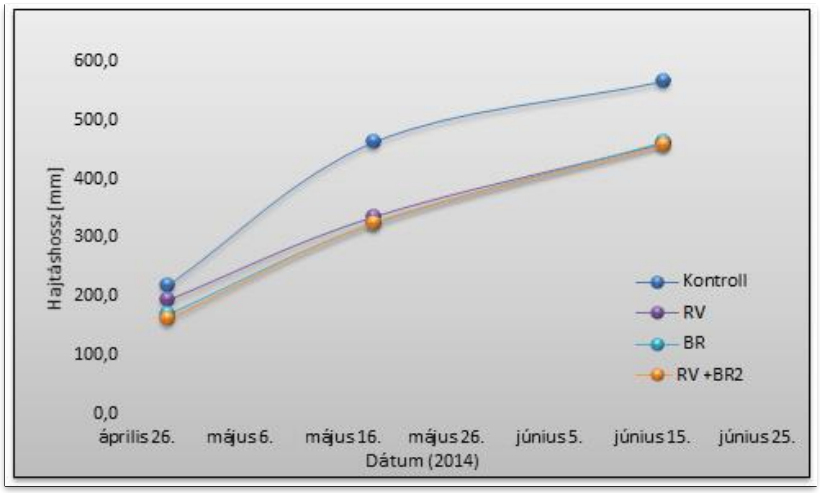
15. táblázat: Games- Howell Post Hoc teszt száraz gyökértömeg statisztikai vizsgálatához. Soroksár, 2014. (Sig<0,05)
Kontroll: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; RV: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; BR: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; RV+BR2: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;

Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	2.4450	1.22009	.706	-11.7788	16.6688
	RV+BR2	-3.8300	3.13382	.921	-76.5240	68.8640
	RV	-1.7750	1.04873	.803	-24.3222	20.7722

A növények hajtáshosszát három alkalommal vizsgáltuk a palánták 10, 14 és 18 hetes korában. A megfigyeléseink alapján a kontroll növények mindhárom alkalommal magasabbak voltak, mint a kezelt növények (23. ábra). A kezelt növények mind zömökebbek, dúsabbak, erőteljesebbek voltak, mint a kezeletenek (22. ábra). A virágzás és bogyókötés is korábban történt náluk, mint a kontroll növényeknél. A bioeffektor kezelések között azonban nem volt számottevő

különbség, függetlenül attól, hogy egyszeres vagy kombinált oltásról van szó, se tenyészedényes, se szabadföldi körülmények közt (16. táblázat).

22. ábra: Tenyészedény kísérlet - bal képen kontroll növények, jobb képen RV kezelt növények. SZIE (MATE), 2014.



23 ábra: Növények hajtáshossz-változása a tenyészidőszak alatt, Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

16. táblázat: Növények hajtáshosszának alakulása Tukey Poct Hoc teszttel végzett statisztikai elemzés során. Soroksár, 2014. Sig<0,05
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2*: RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás: F [5; 18] = 0,865 p= 0,523

Tukey		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
RV+BR2	RV	5,4167	27,76213	1,000	-76,0678	86,9011
	BR	-19,4167	27,76213	,981	-100,9011	62,0678
	Kontroll	-12,6667	27,76213	,997	-94,1511	68,8178

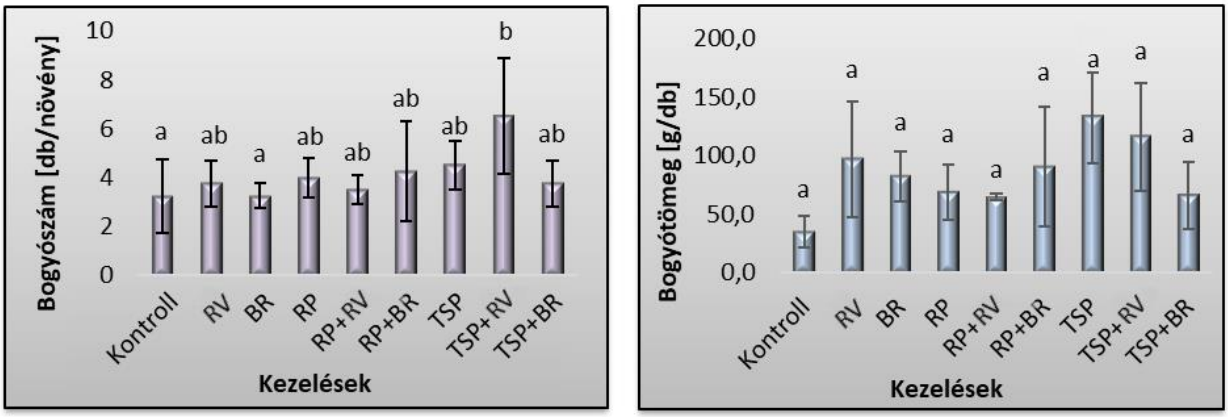
4.3. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsom minőségére

4.3.1. A paradicsom méretei és élvezeti értéke

A paradicsom vegetatív részein kívül vizsgáltuk a termések mennyiségi és minőségi paramétereit is. A tenyészedényes vizsgálatok során a termések beltartalmi tulajdonságai kiemelkedőek voltak.

A kísérlet bontásakor felvételeztük a növényenkénti bogyószámot, melyből átlagot számoltunk, illetve lemértük a bogyók tömegét. Az eredmények alapján a Biorex oltóanyaggal kezelt növényeken kívül minden kezelésnél több volt az átlagos növényenkénti bogyószám a kontrollhoz viszonyítva. Azonban a nagy szórás miatt statisztikailag csak a német bioeffektor és a hozzáadott szuperfoszfát (TSP + RV) kezelés hatása mutat szignifikáns eltérést (p=0,44) (24. ábra, bal oldal).

Az átlagos bogyótömeg mérésekor a szóráshomogenitás feltételei sérültek (F [8; 27] =3,440 p= 0,007), így Games-Howell módszerrel végeztük el a Post Hoc tesztet. A nagy szórás miatt nem volt statisztikailag igazolható a különbség az egyes kezelések között, mégis a kontrollhoz képest minden hozzáadott foszfor műtrágya és/vagy oltóanyag növelte a bogyók átlagtömegét (24. ábra, jobb oldal). Ezek közül bár kiemelkedő volt a hozzáadott szuperfoszfát (TSP) és a RhizoVitallal (RV) kezelt növényeknél, illetve ezek kombinációja (TSP+RV), statisztikailag nem különültek el (p> 0,05) (17. táblázat).



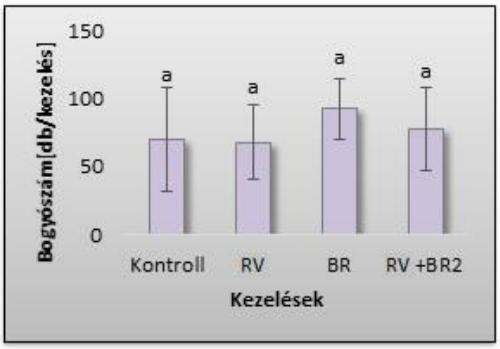
24. ábra Átlagos bogyószám (bal) és bogyótömeg (jobb) tenyészedény kísérlet során. SZIE (MATE), 2015.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{bsz} [8; 27] =1,749 p=0,132
F_{bt} [8; 27] =3,440 p=0,007

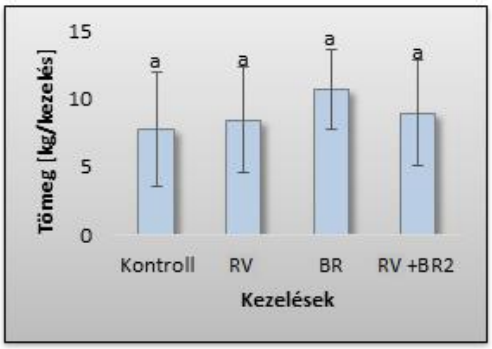
17. táblázat Tenyészedényes paradicsomnövények átlagos bogyótömegének statisztikai eredménye tenyészedény kísérlet során. SZIE (MATE), 2015. (Sig<0,05)
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**

Games- Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	-61,5000	25,76335	,468	-213,3184	90,3184
	BR	-47,0000	12,51000	,121	-106,6555	12,6555
	RP	-33,7500	13,65269	,406	-100,9741	33,4741
	RP+RV	-29,5000	6,88598	,133	-71,4237	12,4237
	RP+BR	-55,2500	26,42718	,575	-211,6707	101,1707
	TSP	-97,0000	20,70024	,088	-213,4377	19,4377
	TSP+RV	-80,7500	23,79907	,224	-218,8991	57,3991
	TSP+BR	-30,7500	15,89222	,629	-113,3859	51,8859

A szabadföldi kísérlet bontásakor átlagos összbogyószámot és összbogyótömeget mértünk. Összeadtuk az összes azonos kezelésű parcellán található termések darabszámát és lemértük őket, majd kezelésenként átlagot vontunk ezekből.

Ahogy a többi szabadföldi vizsgálatnál is tapasztaltuk, statisztikailag nem volt különbség az egyes kezelések közt, a kontrollhoz viszonyítva egyik oltás sem növelte sem a számát (p= 0,75), sem azok tömegét (p=0,119). A magyar oltóanyaggal kezelt növények (BR), igaz csak minimálisan, de jobb hozamot értek el, mint a német bioeffektorral (RV) kezeltek (25 ábra). A német és a magyar oltóanyag kombinációja (RV+BR2) szintén nem hozta a várt szinergista eredményeket (18. táblázat).





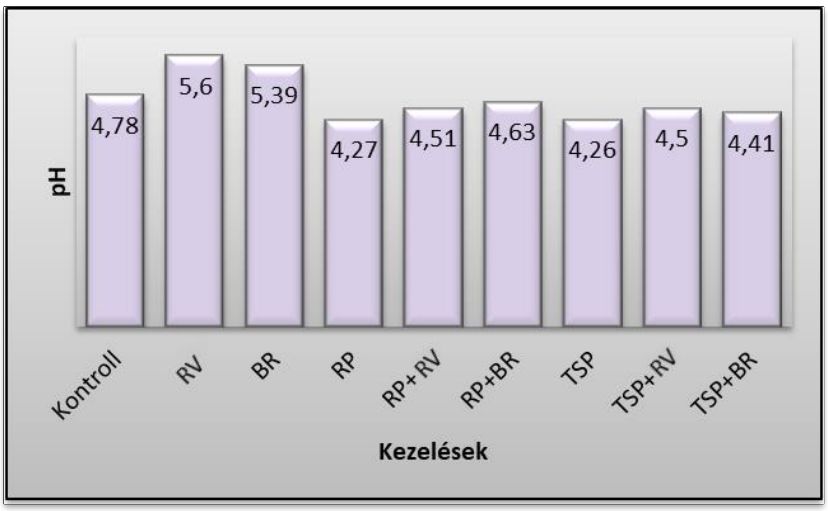
25. ábra A szabadföldi kísérlet bontásakor mért kezelésenkénti átlagos összbogyószám (bal) és összbogyótömeg (jobb). Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{db} [5; 42] =0,993 p= 0,434
F_{kg}[5; 42] =0,570 p=0,723

18. táblázat A szabadföldi kísérlet bontásakor mért kezelésenkénti átlagos összbogyószám és összbogyótömeg statisztikai elemzése. Soroksár, 2014. Sig<0,05.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

Tukey		Összbogyószám SIG.	Összbogyótömeg SIG.
RV+BR2	RV	,992	1,000
	BR	,954	,971
	Kontroll	,998	,995

A foszfor nem csak a növény morfológiai tulajdonságaira, hanem a belső élvezeti értékeire is hatással lehet (Di Cesare et al, 2010, Wass-Matics, 2018). A paradicsommal szemben támasztott egyik fő szempont a bogyó íze. A finom paradicsom ismérve a jó sav-cukor arány, se nem túl savanyú, se nem túl édes. Ehhez az ízvilághoz sok beltartalmi komponens járul hozzá, mint a különböző cukrok (főként a fruktóz és glükóz), illetve savak (mint az almasav és a citromsav). Ezek egymáshoz viszonyított aránya adja meg a paradicsom ízét és savasságát. Ezeket az értékeket nem csak szubjektíven, ízleléssel lehet meghatározni, hanem számszerűen is ki lehet fejezni, műszeres vizsgálatok segítségével. Ezek módja a termések pH értékének és Brix fokának megállapítása, illetve HPLC méréssel a különböző cukrok és savak koncentrációjának és arányainak a vizsgálatai.

Az optimális kémhatás paradicsom esetében pH=4-5. Minél alacsonyabb ez az érték, a bogyó annál savanyúbb és kesernyésebb ízű lesz (Stevens et al, 1977; Helyes et al, 2002). A paradicsombogyó szűrletének kémhatását 20 ^{o}C-n, pH mérővel mértük. A kezelések közül a legkevésbé savas a RhizoVital oltóanyaggal kezelt terméseké volt. A kontrollhoz képest a hozzáadott foszforformákkal kezelt bogyók savasabbnak bizonyultak, ám a bioeffektorral kezelt párjaik már növelték a bogyók kémhatásán, ami eltér az optimális 4-5-s pH értéktől (26. ábra). A feldolgozóipar számára a 4,35 alatti pH a megfelelő, így ebből a szempontból megközelítve az oltóanyagok még inkább rontottak a kémhatásokon.

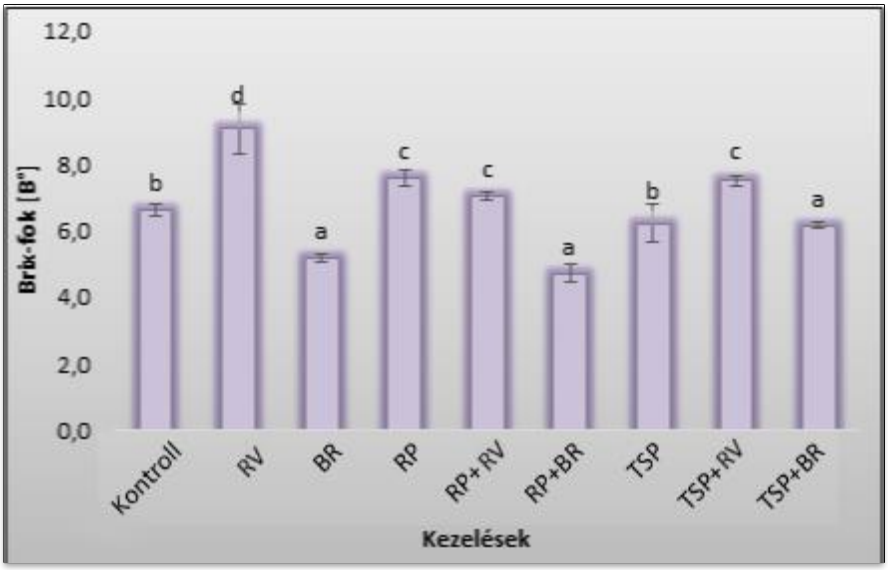


26. ábra A termések kémhatása az egyes kezelések hatására. Tenyészedény kísérlet eredményei. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; TSP+BR: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**

A paradicsom édes ízének jellegét a benne található cukrok adják. Ennek mérésére a Brix-fok (°Bx), vagy másnéven cukorfok meghatározása szolgál, melynél 100 g oldatban található 1 g szacharóz 1 Brix-foknak felel meg. A paradicsomnál ez az érték jellemzően 4-7 Bx° között van (Brandt, 2007). A kísérlet bontásakor gyűjtött ép termések homogenátumaiban mért Brix-fok eredményei a 27. ábrán láthatók. A szóráshomogenitás feltételeinek sérülése (F [8; 36] =4,070 p=0,002) miatt a Post Hoc tesztet Games-Howell módszerrel végeztük el (19. táblázat). A kontrollhoz képest kevesebb szacharózt tartalmaztak a Biorex (BR), illetve a nyersfoszfáttal kiegészített Biorex oltóanyaggal (RP+BR) kezelt bogyók. Minden más kezelésnél a termések több cukrot tartalmaztak a kontrollhoz viszonyítva. Ezek közül is kiemelkedő cukortartalmú volt a német RhizoVital oltóanyaggal kezelt növények (RV) termése (p=0,014) (27. ábra).

19. táblázat: Paradicsomtermések vízoldható szárazanyag-tartalmának statisztikai elemzése tenyészedényes körülmények között. SZIE (MATE), 2014. Sig<0,05
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV:* RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR:* RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV:* TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR:* TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**

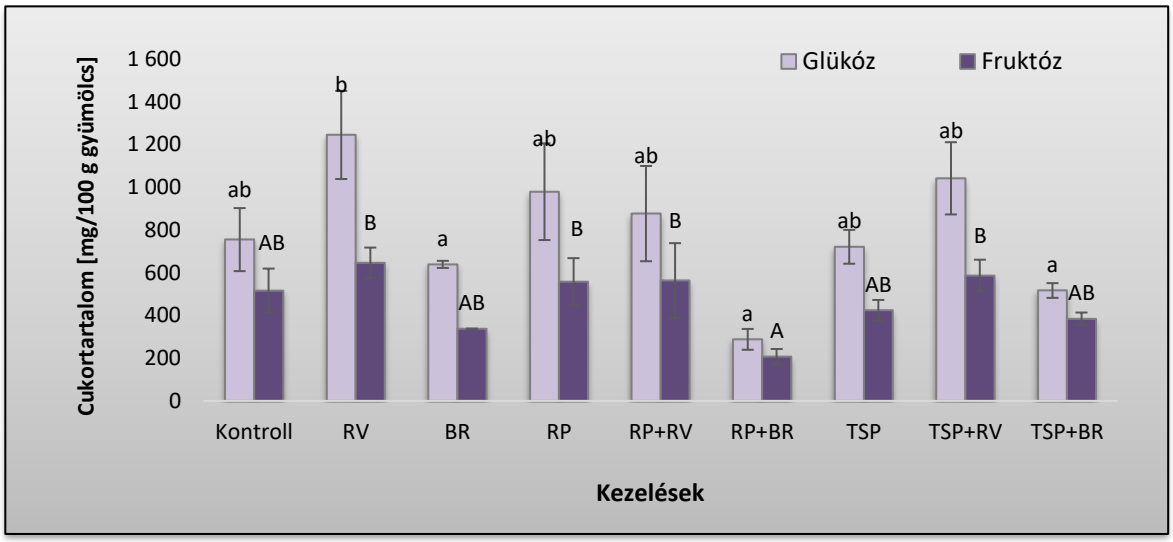
Games-Howell		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontroll	RV	-2,4600*	,34322	**,014**	-4,2170	-,7030
	BR	1,4200*	,09165	**,000**	1,0378	1,8022
	RP	-,9800*	,13565	**,003**	-1,5596	-,4004
	RP+RV	-,4400*	,08944	**,023**	-,8172	-,0628
	RP+BR	1,9000*	,14422	**,000**	1,2734	2,5266
	TSP	,3800	,26268	,841	-,9229	1,6829
	TSP+RV	-,9000*	,09899	**,000**	-1,3049	-,4951
	TSP+BR	,4600*	,08367	**,018**	,0901	,8299



27. ábra A paradicsomtermések vízoldható szárazanyag-tartalmának alakulása a tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR*: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás: F [8; 36] =4,070 p=0,002

A szacharóz egy diszacharid, amely egy glükóz és fruktóz molekulából áll. Ezek szétválasztására és mérésére nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) eljárást alkalmaztunk. Az eredmények alapján a RV bár a kontrollhoz képest nem mutatott szignifikáns különbséget glükóztartalomban, a Biorex oltóanyagot tartalmazó kezelésekhez képest kiemelkedő volt (p=0,046) (20. táblázat). A BR talajoltás és a RP+BR kezelés hatására a cukortartalom kevesebb volt a termésekben, ugyanúgy, ahogy a Brix-fok mérésekor (28. ábra).

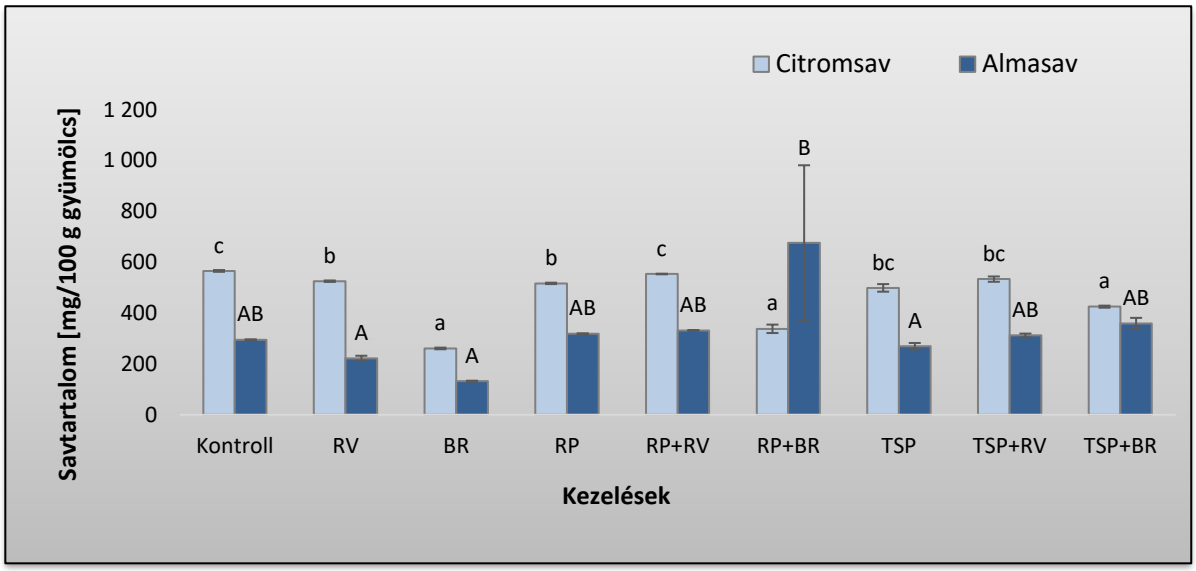
A paradicsom ízletes, karakteres ízét nem csak a magas cukortartalom, hanem a magas savtartalom (főként a citrom-, illetve kis mennyiségben az almasav) határozza meg, illetve a megfelelő sav-cukor aránya (Stevens et al, 1977). A citromsav-tartalomnál ugyanazt tapasztaltuk, mint a cukortartalom esetén: BR és RP+BR kezelések hatására a termésekben kevesebb volt a citromsav, míg az utóbbiban mértük a legmagasabb almasav szintet. Illetve a TSP+BR kezelésnél is kevesebb citromsavat mértünk. A többi kezelés savtartalma közel azonos volt, mint a kontroll növényeké, bár a RhizoVital (RV) kezelésekben is kevesebb citromsavat és almasavat mértünk, mint a kontroll növényekben (29. ábra).



28. ábra: Paradicsomtermések HPLC-vel mért glükóz-és fruktóztartalmának alakulása tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR*: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{gl} [8; 9] =0,107 p= 0,248

20. táblázat: Paradicsomtermések HPLC-vel mért glükóztartalmának statisztikai elemzése tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2014. Sig<0,05
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR*: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**

Tukey		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
RV	BR	605,6505*	150,48844	**,046**	10,3093	1200,9917
	Kontroll	489,7255	150,48844	,129	-105,6157	1085,0667
	RP	265,5480	150,48844	,702	-329,7932	860,8892
	RP+RV	367,9910	150,48844	,361	-227,3502	963,3322
	RP+BR	956,4065*	150,48844	**,002**	361,0653	1551,7477
	TSP	523,3945	150,48844	**,096**	-71,9467	1118,7357
	TSP+RV	203,0035	150,48844	,892	-392,3377	798,3447
	TSP+BR	727,8545*	150,48844	**,016**	132,5133	1323,1957



29. ábra: A paradicsomtermések HPLC-vel mért citrom- és almasav tartalmának alakulása tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2014.
***Kontroll*: P műtrágyát és oltóanyagot nem tartalmazó talaj; *RV*: P műtrágyát nem tartalmazó, RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: P műtrágyát nem tartalmazó, Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RP*: oltóanyagot nem tartalmazó, RP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *RP+RV*: RP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *RP+BR*: RP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP*: oltóanyagot nem tartalmazó, TSP műtrágyával ellátott kontroll talaj; *TSP+RV*: TSP műtrágyával és RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *TSP+BR*: TSP műtrágyával és Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{cs} [8;9] = 0,155 p=0,591
F_{as} [8;9] = 0,362 p=0,076

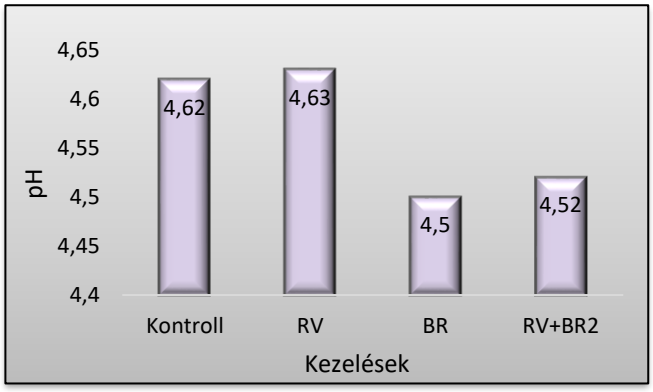
A Pearson-féle korrelációanalízis elvégzése után kijelenthetjük, hogy a Brix-fok és a HPLC-cukortartalom eredményei erősen korrelálnak, azok egyenes arányosságban vannak egymással. Ugyanez elmondható a citromsavtartalommal is, míg az almasav kisebb mértékben és fordítottan aránylik a Brix-értékekhez (21. táblázat).

21. táblázat: A Brix-fok, a cukortartalom és a savtartalom közötti összefüggések Pearson-féle korrelációanalízissel kimutatva.

Korrelációanalízis						
		Brix	**Glükóz**	**Fruktóz**	**Citromsav**	**Almasav**
Brix	Pearson-féle korreláció	1	**,709****	**,662****	**,456****	**-,403***
	Sig. (2-oldali próba)		,000	,000	,005	,015
	N	36	36	36	36	36
Glükóz	Pearson-féle korreláció	,709**	1	,948**	,597**	-,405*
	Sig. (2-oldali próba)	,000		,000	,000	,014
	N	36	36	36	36	36
Fruktóz	Pearson-féle korreláció	,662**	,948**	1	,746**	-,307
	Sig. (2-oldali próba)	,000	,000		,000	,069
	N	36	36	36	36	36
Citromsav	Pearson-féle korreláció	,456**	,597**	,746**	1	,036
	Sig. (2-oldali próba)	,005	,000	,000		,834
	N	36	36	36	36	36
Almasav	Pearson-féle korreláció	-,403*	-,405*	-,307	,036	1
	Sig. (2-oldali próba)	,015	,014	,069	,834	
	N	36	36	36	36	36
**** p <0.01 (2-oldali próba) – erős korreláció**						
*** p <0.05 (2-oldali próba) – gyenge korreláció**						

A szabadföldi kísérletek bontásakor is elvégeztük a paradicsomterméseken a pH, Brix és a HPLC-vel végzett vizsgálatokat.

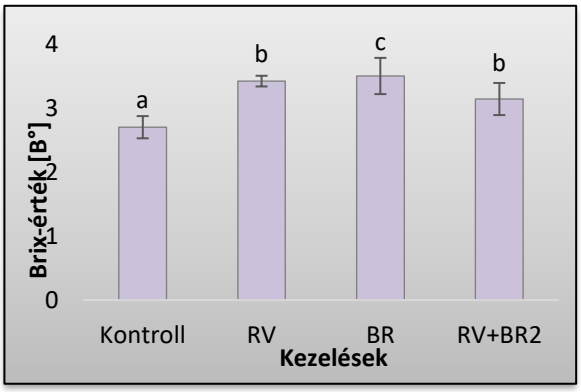
A kémhatás esetén szabadföldi körülmények között a RV oltóanyaggal kezelt bogyóké közel azonos volt a kontroll növényével, míg a magyar oltóanyagot is tartalmazó egyedi (BR) és kombinált (RV+BR2) talajoltású bogyók kémhatása kicsit savasabbnak bizonyult (30. ábra). Ettől függetlenül minden kezelés pH-ja az optimális 4-5 érték között alakult, a feldolgozóipar számára optimális 4,35-ös kémhatást legjobban a Biorex oltóanyagot tartalmazó kezelések (BR; RV+BR2) közelítették meg.



30. ábra A paradicsombogyók kémhatásának alakulása szabadföldi körülmények között a termesztett növényeknél. Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

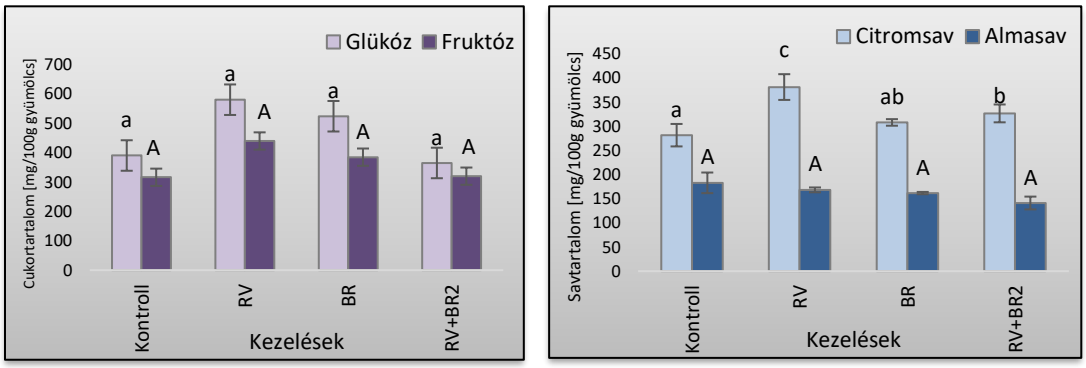
Minden talajoltóanyaggal kezelt növény termése szignifikánsan több szacharózt tartalmazott ($p<0,01$), mint a kontroll paradicsombogyók, mind az egykomponensű, mind pedig a kombinált oltóanyagoknál. A kombinált kezeléseknél ugyanakkor a legkevesebb cukortartalmakat mértük az oltóanyaggal kezeltek közül (31. ábra).

A szabadföldi kísérletek paradicsomterméseinek vízoldható szárazanyagtartalma lényegesen alacsonyabb volt, mint a tenyészedényes növényeké. A Brix-fok a nyers fogyasztásra szánt paradicsomnál átlagosan 3,5-5,5 közötti érték (Brandt, 2007), ám az általunk mért legmagasabb TSS is épp, hogy eléri az elvárt tartomány alsó határát (BR=3,5 °Bx). Ez a gyenge Brix érték nagy valószínűséggel a nem megfelelő csapadék-eloszlásnak köszönhető, ugyanis az adott vegetációs időszakban, 2014-ben, igen kedvezőtlenül alakult. A bogyókötődés és -növekedés az egyik legkritikusabb fenológiai fázisok a paradicsomtermesztés szempontjából (Schmidt et al, 2010). Ez általában június hónapra esik, amikor is az adott évben nagyon kevés csapadék esett. Amikor pedig a termésérés ideje volt, igen nagy mennyiségű csapadék hullott, ami jelentősen csökkentette a termések vízoldható szárazanyag-tartalmát (5. táblázat).



31. ábra: A paradicsombogyók vízoldható szárazanyag-tartalmának alakulása szabadföldi körülmények között, Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; Szóráshomogenitás: F [5; 24] =2,361 p=0,071**

A HPLC eredmények alapján is nagyobb fruktóz -és glükóztartalmakat mértünk a RV és BR kezeléseknél, ám a nagy szórás miatt szignifikáns eredményt nem tudtunk kimutatni a szabadföldön termesztett paradicsombogyókban. A RV+BR2 kombináció eredményei szinte azonosak voltak a kontroll növény értékeivel (32. ábra, bal oldalon). A savtartalom mérésekor az almasav esetében sem tapasztaltunk jelentős különbséget a kezelések között, ám a cukortartalommal erősen korreláló citromsav magasabb volt a kezelt növények bogyóiban (32. ábra, jobb oldalon). A német bioeffektorral oltott növények itt is kiemelkedő teljesítményűek voltak. A termésminőség esetében nem csak a tenyészedény kísérletben, de szabadföldi körülményeknél is mutatkoztak statisztikailag szignifikáns különbségek a kezelt és kezeletlen növények között (22. táblázat).



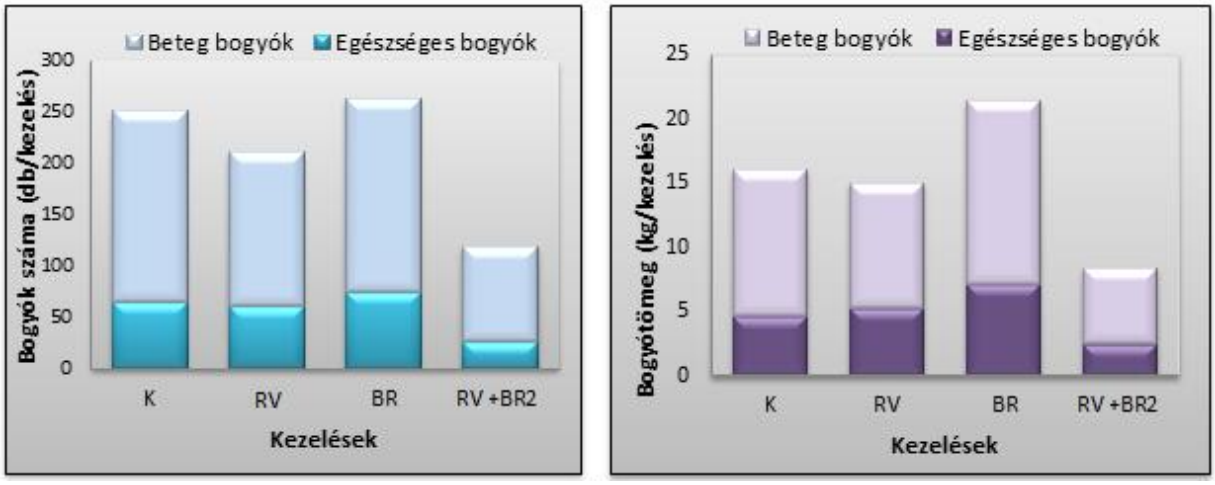
32. ábra: A paradicsomtermések cukor- (bal) és savtartalmának (jobb) alakulása HPLC-módszerrel a szabadföldi kísérletben, Soroksár, 2014.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{gl} [3; 4] =0,241 p=0,646
F_{fr} [3;4] = 0,146 p=0,747
F_{cs} [3;4] =0,121 p=0,987
F_{as} [3;4] =0,126 p=0,953

22. táblázat: A paradicsomtermések cukor- (glükóz és fruktóz) és savtartalmának (citromsav és almasav) alakulásának statisztikai elemzése, Soroksár, 2014. Sig <0,05
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

Tukey		Glükóztartalom SIG.	Fruktóztartalom SIG.	Citromsavtart. SIG.	Almasavtart. SIG.
Kontroll	RV	,679	,695	**,002**	,766
	BR	,845	,919	,181	,543
	RV+BR2	,998	1,000	**,038**	,147

4.3.2. A paradicsom piaci tulajdonságai

2014-ben a termésérés fenológiai fázisában, júliusban és augusztusban nagy és hirtelen mennyiségű csapadék hullott. Ebben az időszakban az átlaghőmérséklet is alacsonyabb volt (5. táblázat). Ez a két tényező együttes hatása pedig súlyos fitoftórás fertőzést *(Phytophtora infestans)* vonhat maga után (Fry, 2008). A paradicsomvésznek is nevezett kórokozó ebben az évben nagy pusztítást okozott a paradicsom- és burgonyaültetvényeken egyaránt. A hirtelen lezúduló és nagy mennyiségű csapadék a terméseken repedéseket is okozott, melyeken a kórokozó megtelepedett és igen kevés egészséges és ép bogyó maradt a növényeken. A 33. ábrán (jobb) látható, hogy bár a Biorex oltóanyaggal kezelt területen volt a legnagyobb a termésátlag, mégis a RhizoVital talajoltású terméseknél volt a legjobb az egészséges-beteg bogyók aránya. Valószínűleg ez az arány a *Bacillus amyloliquefaciens* baktérium biopeszticid hatásának köszönhető (Chen et al. 2007; Caldeira et al, 2008; Chowdhury et al, 2013), ám a kedvezőtlen környezeti körülmények miatt nem tudta mégsem nagy mértékben kifejteni azt (33. ábra). Statisztikailag azonban egyik kezelés sem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest (23. táblázat).



33. ábra Az egészséges és beteg bogyók számának (bal) és tömegének (jobb) aránya a szabadföldi kísérlet bontásakor. Soroksár, 2014.
***K*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{beteg_db} [3;12] =3,275 p=0,239
$F_{ép_db}$ [3;12] = 1,250 p=0,335
F_{beteg_kg} [3;12] =2,941 p= 0,076
$F_{ép_kg}$ [3;12] = 1,608 p= 0,239

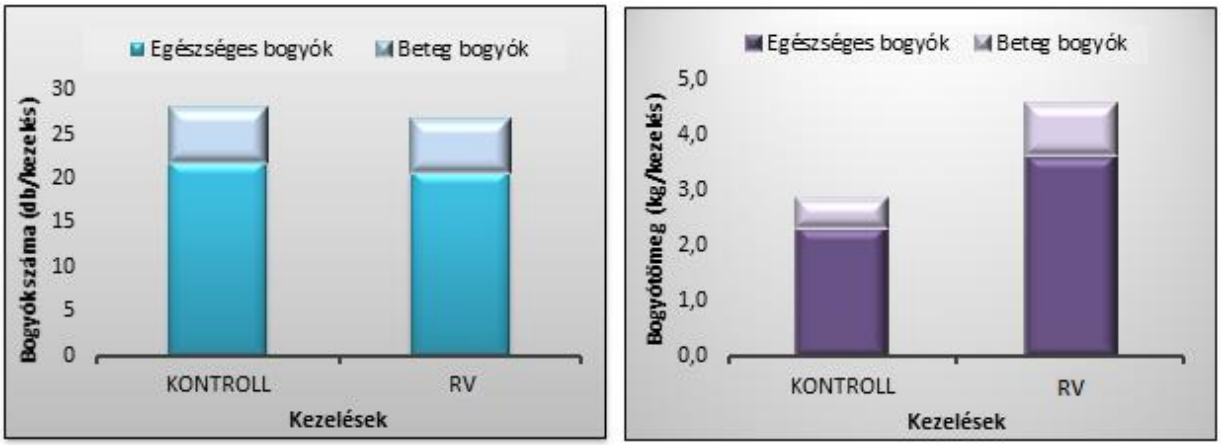
23. táblázat: A 2014-es év szabadföldi egészséges és beteg bogyók darabszámának és tömegének statisztikai elemzése. Sig<0,05.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**

Tukey		Ép Darabszám	Ép Tömeg	Beteg Darabszám	Beteg Tömeg
		Sig.			
Kontroll	RV	,993	,978	,910	,982
	RV+BR2	,204	,624	,344	,621
	BR	,943	,461	1,000	,927

A 2015-ös év egy nagyon aszályos év volt, a kísérlet időtartama alatt mindössze 286 mm összcsapadék esett (5. táblázat), sokkal kevesebb, mint 2014-ben, mikor is 493,6 mm volt az összcsapadék ugyanabban az időszakban. Ezzel szemben 2015-ben sokkal kiegyenlítettebb volt a csapadékeloszlás, nem volt hirtelen nagy mennyiségű eső. A fitoftórás betegség ennek köszönhetően nem tudott olyan mértékben felszaporodni, mint az azt megelőző évben, az egyenletesebb csapadékeloszlásnál pedig a bogyók sem repedtek fel (Csambalik et al, 2017). Így, bár 2015-ben jóval kisebb volt a termésátlag, mind darabszámra, mind tömegre, azok között sokkal nagyobb volt az egészséges bogyók aránya. A vízhiányos, nem ideális körülmények hatására a bioeffektor is eredményesebben tudott érvényesülni. Igaz, hogy közel azonos mennyiségű összbogyószámot kaptunk a kontrollhoz viszonyítva, ám a RV kezelt bogyók nagyobb méretűek és karakteresebb ízvilágúak voltak (34. ábra). Statisztikailag pedig a két kezelés (K és RV) összehasonlításakor a bogyótömeg esetében mind az egészséges, mind a beteg terméseknél szignifikánsan nagyobb volt az oltóanyaggal kezeltek tömege, mint a kontroll termése (24. táblázat).

24. táblázat: 2015. év szabadföldi kísérlet egészséges (ép) és beteg bogyók darabszámának és tömegének statisztikai elemzése. Soroksár, 2015. Sig<0,05.

Összehasonlítás		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kezelés	Ép_db	9,375	1	9,375	,180	,676
	Ép_kg	10,218	1	10,218	9,544	**,005**
	Beteg_db	,042	1	,042	,008	,928
	Beteg_kg	,932	1	,932	4,722	**,041**



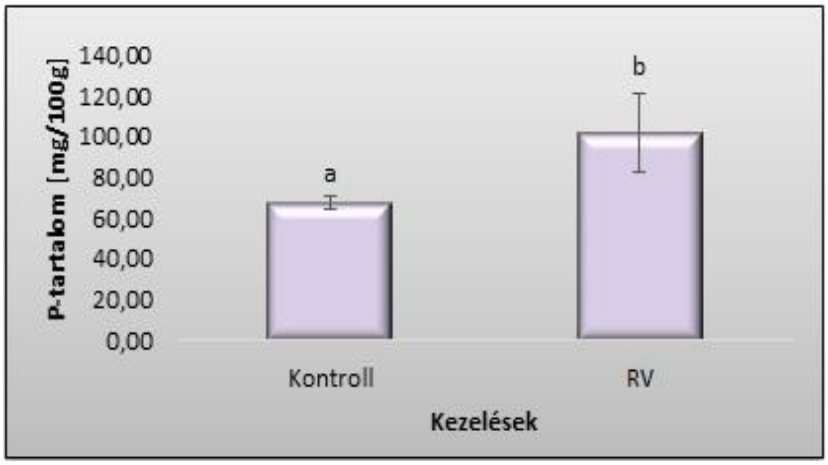
34. ábra: Az egészséges bogyók számának és tömegének aránya a szabadföldi kísérlet bontásakor Soroksár, 2015.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{beteg_db} [1;22]=0,438 p=0,515
$F_{ép_db}$ [1;22]= 0,324 p=0,988
F_{beteg_kg}[1;22]= 0,525 p=0,476
$F_{ép_kg}$[1;22]= 3,114 p=0,092

4.4. Az oltáshatások gyakorlati alkalmazása

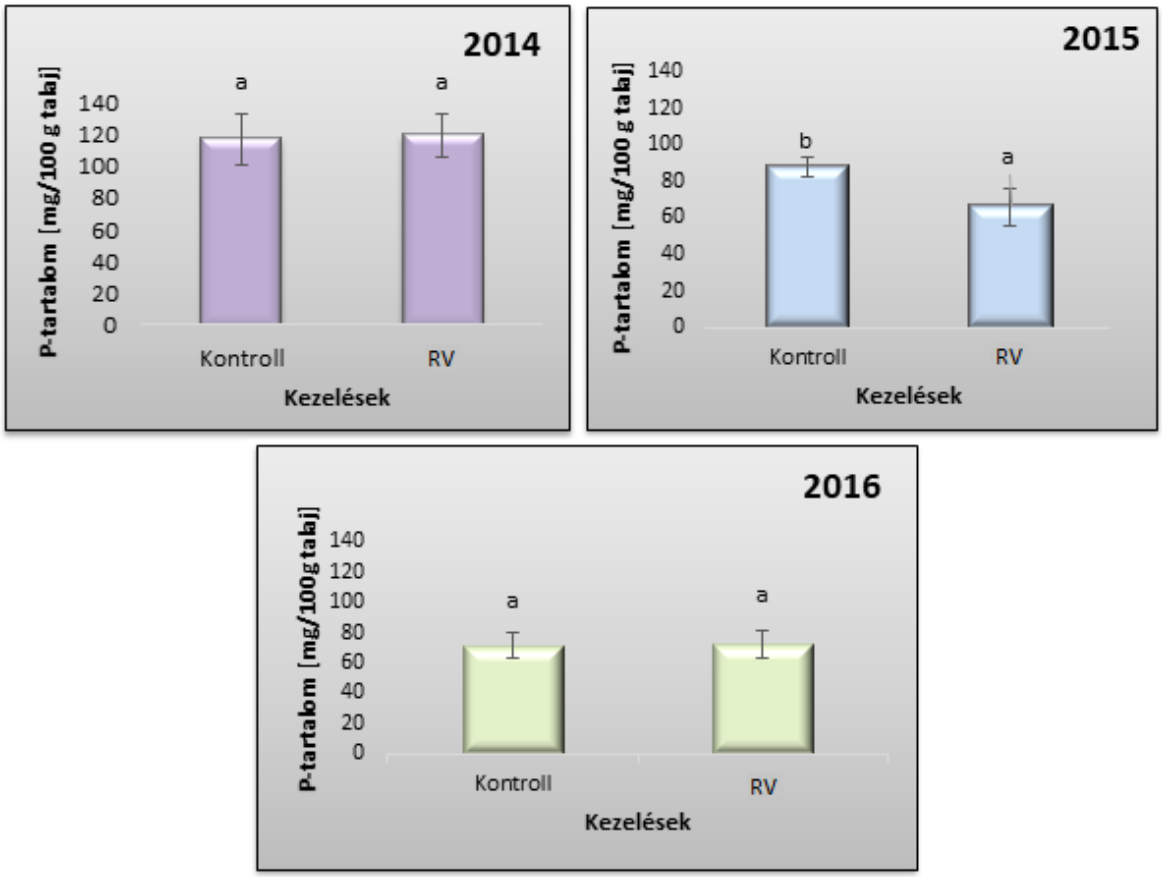
4.4.1. A tenyészedény és szabadföldi kísérletek összehasonlítása

Az oltóanyagok eredményeségét az igazolja, ha szabadföldi körülmények közt is hatékony eredményeket kapunk, úgy, mint tenyészedényes, kontrollált körülmények közt. A szabadföldi kísérletek során kipróbáltunk egy kombinált kezelést is, ahol a magyar Biorex második komponensét (BR2) kombináltuk a német eredetű bioeffektorral (RV). Feltételeztük, hogy ezek szinergista hatása révén még jobb eredményeket tudunk elérni.

Eredményeink azonban ezt a felvetést nem igazolták. A tenyészedényben szignifikáns különbséget mutató kezelések szabadföldön azonosak lettek a kontroll kezelések eredményeivel. Jelentős, statisztikailag is igazolt különbséget nem tudtunk kimutatni. Előfordult olyan eset is, amikor a RhizoVital rosszabb eredményt mutatott szabadföldön a kontrollhoz viszonyítva (33. ábra). Hasonló eredményt adott a talajok foszfortartalom-vizsgálata is a kétféle termesztési léptéket összehasonlítva. Tenyészedényes, kontrollált körülmények között a német eredetű bioeffektorral (RV) kezelt talaj szignifikánsan több foszfort tartalmazott, mint a kontroll növény (p=0,034). Tehát a foszformobilizáló *Bacillus amyloliquefaciens* optimális környezetben, megfelelő vízkapacitás tartása mellett képes volt kimutathatóan több foszfor oldására a talajból (35. ábra). Ezzel szemben a szabadföldi körülmények között közel azonos eredményeket kaptunk a kontroll és a talajoltóanyaggal kezelt területeken (36. ábra).



35. ábra: A talajok felvehető foszfortartalmának (AL-P) alakulása a tenyészedény kísérletben. SZIE (MATE), 2015.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F[3;8]=3,36 p=0,78

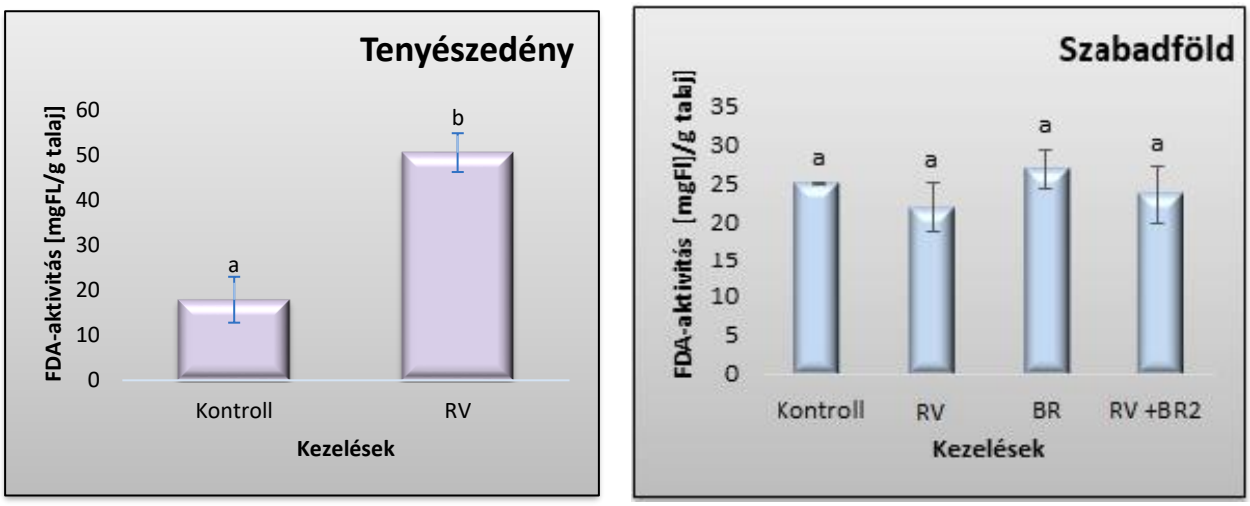


36. ábra A talajok felvehető foszfortartalmának (AL-P) alakulása a szabadföldi kísérletben 2014-2016 között (Soroksár)
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{2014} [1;6] =0,240 p=0,,940
F_{2015} [1;6] =1,161 p=0,323
F_{2016}[1;6]=0,868 p=,387

A 2015-ös évben jelentősen kevesebb volt a csapadékmennyiség, ebben az évben a bioeffektorral kezelt talajokban kevesebb oldható foszfort mértünk a kontroll talajokhoz képest, mint a 2014 vagy 2016-os években, amikor is kétszer annyi csapadék esett (5. táblázat). Az elegendő mennyiségű csapadék esetén is elmondható azonban, hogy szabadföldön a bioeffektorok egyik évben sem tudtak olyan mértékben érvényesülni, hogy az az oldható foszformennyiségben szignifikánsan kimutatható legyen. Ennek egyik jelentős oka lehet, hogy az oltóanyaggal bevitt mikroorganizmusok nem képesek felszaporodni és a növények gyökerét kolonizálni szabadföldön, a már ott lévő honos szervezetek kiszorítják azokat. Ökológiai területről lévén szó, az őshonos mikrobiális közösség nagyobb mennyiségben van jelen és kompetíciós képessége is jelentősebb, mint a hagyományos művelésű talajokban. Az őshonos (abundáns) mikroorganizmusok, melyek már adaptálódtak az adott terület körülményeihez, sokkal inkább képesek a tevékenységüket kifejteni, mint az oltással bevitt baktériumok, melyek a kompetícióban alulmaradnak. Kifejezetten igaz ez az általunk vizsgált szabadföldi területre, mely 20 éve minősített ökoterület, ezáltal az őshonos szervezetek sokkalta nagyobb számban fordulnak elő, mint a hagyományos művelésű talajokban. A környezeti feltételekhez való adaptáció tehát az egyik lényegi tulajdonsága kell, hogy legyen egy oltóanyag készítményeknek.

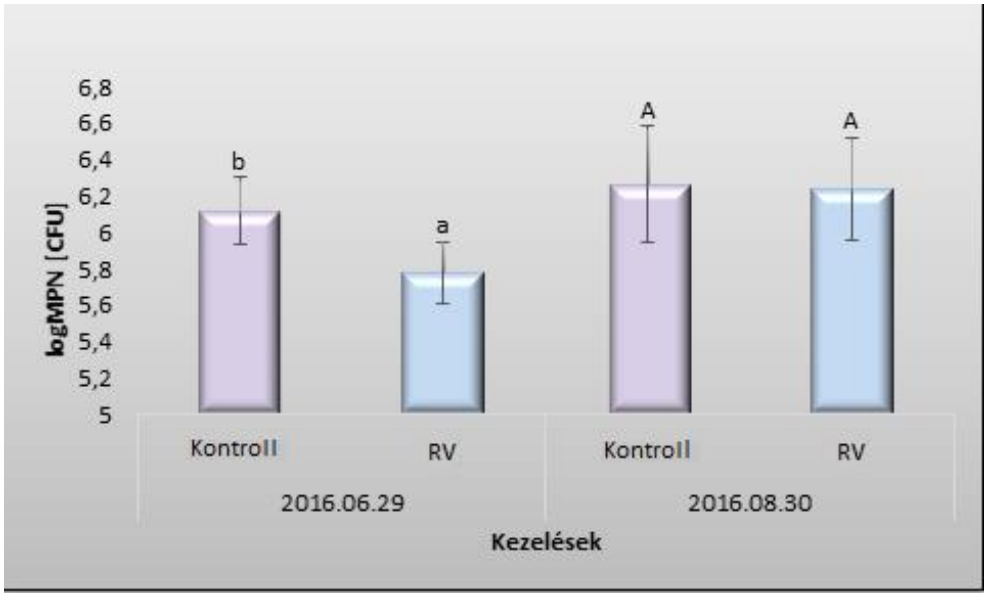
A 36. ábrán az is jól látszik, hogy a talaj felvehető foszfortartalma évről-évre csökken: amíg 2014-ben még 110-120 mg P/ 100 g talaj érték volt, 2015-ben már csak 60-100 mg P/ 100 g talaj, 2016-ban pedig 70-80 mg P/100 g talaj volt ez az érték. Elmondható tehát, hogy csak foszformobilizáló talajoltással nem lehet fenntartani a talajok oldható foszfortartalmát, mivel a termesztett növények hatására is a talaj foszforkészlete rendre csökken, ha nem pótoljuk azt vissza a főnövény után. Összevetve a 36. ábrát a 18. ábrával, jól látható, hogy ahogy csökken a talajok könnyen felvehető foszfortartalma, úgy növekszik évről-évre a talajlakó mikroorganizmusok foszfatáz aktivitása. Ez a szakirodalmi eredményekkel is összecseng: ha a talajlakó mikroorganizmusok foszforfelvétele korlátozott, foszfatázokat termelnek, tehát fordított arányosság van a talajban található szervezetek foszfatáz aktivitása és az elérhető szervetlen foszformennyiség között (Haynes és Swift, 1988; Antibus et al, 1992; Chro'st, 1991; Olander és Vitousek, 2000; Treseder és Vitousek 2001; Allison et al, 2007b).

Ugyanez az eredmény látható a 37. ábrán is, ahol fluoreszcein-diacetát (FDA) aktivitást mértünk: amíg tenyészedényben a RV-vel kezelt talajban nagyobb volt az enzimaktivitás a kezeletlen talajokhoz képest ($p=0,012$), addig szabadföldön nem volt kimutatható különbség közöttük ($p_{RV}=0,708$; $p>0,05$).



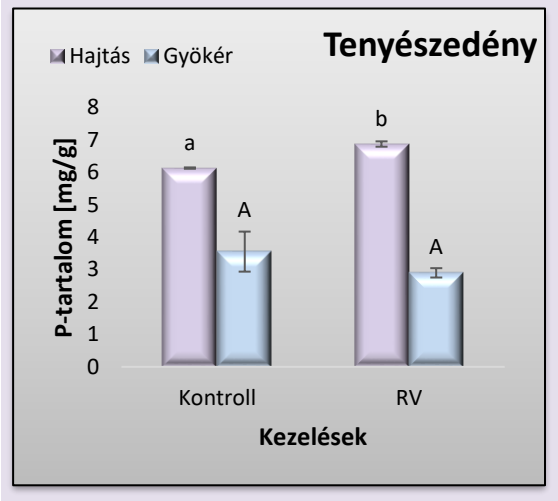
37. ábra A talajok FDA enzim-aktivitása tenyészedényben (bal oldal, SZIE (MATE) 2016) és szabadföldön (jobb oldal, Soroksár 2015).
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj; Szóráshomogenitás:**
F_{TE} [9; 20] =4,697 p= 0,072
F_{SZF} [4; 10] =4,119 p=0,052

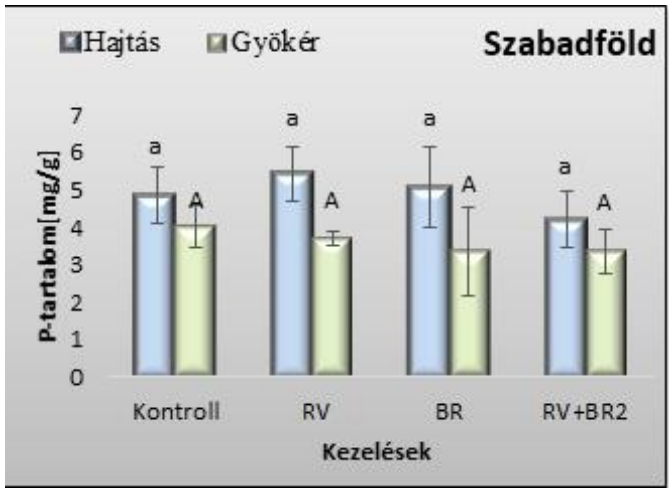
Annak számszerűsítésére, hogy az oltóanyaggal bejuttatott baktérium mennyire volt képes felszaporodni a kezelt területen, végeztünk MPN vizsgálatot spórás mikroorganizmusokra vetítve. Június végén ezek a szervezetek még jelentős arányban voltak jelen a talajban ($p_{jún}$=0,039), majd a tenyészidőszak végére felszaporodtak, ám nem tudtak olyan mértékben feldúsulni, hogy az statisztikailag elkülöníthető legyen a kezeletlen talaj mikroorganizmusaitól (p_{aug}= 0,917) (38. ábra).



38. ábra Az összes spórás baktérium élő csíraszáma szabadföldi körülmények között nevelt paradicsomgyökerek környezetében. Soroksár, 2016.
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; Szóráshomogenitás:**
$F_{jún}$ [1;6] =0,020 p=0,891
F_{aug} [1;6] =0,109 p=0,752

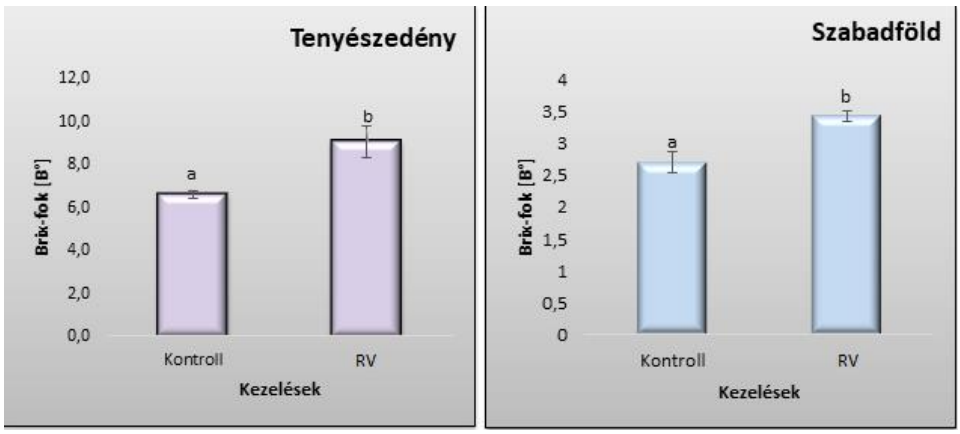
A növényi hajtásban és gyökérben mért foszfortartalom is azt mutatja, hogy kontrollált körülmények között, ahol a talajban több az oldható foszfor mennyisége, és/vagy nagyobb a foszformobilizáló mikroorganizmusok aktivitása, ott a növény képes is lesz arra, hogy többet vegyen fel a foszforból ($p_{hajtás}$=0,026). Ezzel szemben szabadföldi körülmények között, akárcsak a talajban, úgy a növényben sincs kimutatható különbség a foszfortartalomban, sem a hajtás-, sem a gyökérrészben ($p_{hajtás}$>0,05) (39. ábra).





39. ábra A növények foszfortartalmának alakulása a tenyészedényes (bal oldal, SZIE (MATE) 2016) és szabadföldi (jobb oldal, Soroksár 2014) körülmények között
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj; *BR*: Biorex1+2 oltóanyaggal kezelt talaj; *RV+BR2:* RhizoVital és Biorex 2. komponensével kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
$F_{TEhajtás}$ [5; 6] = 0,916 p= 0,254
$F_{TEgyökér}$ [5;6] = 0,986 p=0,998
$F_{SZFgyökér}$ [5; 12] =2,408 p= 0,099
$F_{SZFhajtás}$ [5;12] =1,682 p=0,213

A paradicsomnövény elemtartalmában és vegetatív részeinek változásában nem tudtunk különbséget kimutatni szabadföldön a mikrobiális oltások hatására. A beltartalmi értékek között azonban szignifikáns különbségek adódtak. Ez a különbség a termések minőségénél mutatható ki. A talajoltás hatására javult a termések összes vízoldható szárazanyag-tartalma, azaz a cukortartalma (p_{TE}=0,014; p_{SZF}=0,019) (40. ábra) és citromsav-tartalma (32. ábra, jobb oldal; 22. táblázat). Ennek eredményeként feltételezhetően egy ízletesebb, zamatosabb termést kaptunk nem csak a tenyészedényekben nevelt paradicsomon, hanem szabadföldön is.



40. ábra: A paradicsombogyó vízoldható szárazanyag-tartalmának alakulása tenyészedényes (bal oldal) /SZIE (MATE), 2016/ és szabadföldi (jobb oldal) /Soroksár, 2016/ körülmények között
***Kontroll*: oltóanyagot nem tartalmazó kontroll talaj; *RV*: RhizoVital oltóanyaggal kezelt talaj;**
Szóráshomogenitás:
F_{TE} [8; 16] =4,070 p=0,052
F_{SZF} [5; 24] =2,361 p=0,071

4.4.2. Az oltóanyagok hatásának összehasonlítása a nemzetközi eredményekkel

Az a feltevés, miszerint a szabadföldi területen nagy mennyiségben jelenlévő őshonos mikroorganizmusok kiszorítják az oltóanyaggal bevitt szervezeteket, összecseng a projektpartnerek eredményeivel. Megállapították, hogy szabadföldi, mezőgazdasági rendszerekben a bioeffektorok hatékonysága kisebb és kevésbé reprodukálható. A különböző stressztényezők (aszály, szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, tápanyagellátási korlátok) erősen befolyásolják az oltóanyagok kifejeződését a növényekben (link_5).

Németországban Nkebiwe és munkatársai (2016) mérsékelt nitrogén- és foszforellátottságú vályogtalajon végzett kukorica tesztnövényen kísérleteket több oltóanyaggal, köztük a RhizoVitallal is. Tenyészedényes kísérleteikben a RV nitrogén műtrágyával kombinálva növelte a növények hajtáshossz és -tömegét, ám szabadföldi körülmények közt ezt a hatást már nem tudták reprodukálni. Weinmann (2017) kétféle talajtípuson vizsgálta a bioeffektorokat. Az egyik agyagos típusú volt, a másik agyagos vályog. Mindkét terület több, mint 20 éve ökológiai minősítésű. Szabadföldi körülmények közt nem tudott szignifikáns különbséget kimutatni a kontrollhoz képest sem a talaj foszfortartalom-változásában, sem a növények termésmennyiségében. Több partner is megállapította, hogy alacsony foszforellátottságú talajokban nem nyilvánult meg az oltóanyagok hatása. Különböző talajtípusokon tíz kísérleti helyszínen, három különböző tesztnövényen és kilenc foszformobilizáló oltóanyaggal (köztük a RhizoVitallal) végzett vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottak, egyik oltóanyag sem segítette jelentősen a foszfor feltáródását (Lekfeldt 2016; Nkebiwe 2016; Thonar et al. 2017; Weinmann 2017; link_5).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Tenyészedényes, kontrollált körülmények közt, inkubált talajban végzett kísérletek eredményei alapján a használt bioeffektorok potenciális foszforoldóknak, növekedést segítő mikroorganizmusoknak bizonyultak. Ezzel ellentétben szabadföldi körülmények között a kísérletek azt mutatták, hogy az oltóanyagok hatására nem javult az ökológiai gazdálkodási rendszerben termesztett paradicsom növekedése és sem a talaj, sem a növény foszfortartalma nem nőtt a kontrollhoz viszonyítva.

Jelenleg kevés szakirodalmi eredmény van arról, hogy a mikrobiológiai oltóanyagokat miként befolyásolják a környezeti változók, mint például a talajtulajdonságok, a hőmérséklet vagy éppen a csapadék (Yarzábal, 2010; Musarrat és Khan, 2014), pedig eredményeink szerint ezekre a tényezőkre is figyelemmel kell lenni.

A talajok kémhatása befolyásolja a baktériumok szaporodását és aktivitását. A soroksári talaj jellemzően enyhén lúgos kémhatású (pH 7.1-7.7), és bár a baktériumok inkább semleges vagy enyhén lúgos közegben a legéletképesebbek, gátolja azok foszfátoldó képességét (Gyaneshwar et al, 1998). Egyes kutatási eredmények azt bizonyították, hogy a talaj kémhatásához alkalmazkodott natív mikroorganizmusok hatékonyabban képesek oldani a foszfátokat, mint a hozzáadott mikroszervezetek. Ennek hatására a foszfortartalom-kísérleteknél a kontroll kezelések eredményei azonosak vagy akár jobbak is lettek annál, mint amit a kezelt területeken tapasztaltunk (Toro, 2007).

A talajok típusa is szerepet játszik a sikeres talajoltás eredményességében (Lundberg et al, 2012). Az általunk vizsgált soroksári talaj humuszban szegény, homokos textúrájú. A megfelelő számú és minőségű aggregátumok hiánya erősen csökkentheti a talajoltóanyagokban alkalmazott mikroorganizmusok kolonizációs képességét.

A talajok tápanyagtartalma is az egyik kritikus kérdés a talajoltás során. A tápanyagban gazdag, jól ellátott talajban a mikroorganizmusok növekedést segítő hatása kevésbé nyilvánulhat meg, mint a tápanyagban szegény vagy hozzáadott műtrágyát nem tartalmazó talajokban (Chabot et al, 1996; Treseder és Vitousek 2001; Allison et al, 2007b). A tápanyagok hatása különösen a szimbionta rendszerekben jelentkezik igen erős befolyásoló tényezőként (Biró et al, 2000). *In vitro* körülmények között vizsgálva megállapították, hogy a foszforhiány által kiváltott stressz a növényben megváltoztatja a gyökérváladékok összetételét, ami pedig fokozta a foszforoldó baktériumok aktivitását. Ezzel szemben a növények által felvehető foszforformákban gazdag talajokban a baktériumok tevékenysége elenyésző volt, hatásuk egyáltalán nem volt érzékelhető a növények növekedésében (Deubel et al, 2007). A talajvizsgálati eredmények alapján esetünkben a vizsgált soroksári talaj foszforban nagyon jól ellátottnak bizonyult, amit az 1 és 4. táblázat is

mutat, így vélhetően ez is befolyásolta a szabadföldi körülmények között a kívülről bevitt foszforoldó bakteriális kezelések hatástalanságát. A foszfatáz aktivitás is mutatta, hogy a mikroorganizmusok tevékenysége gyenge volt, hisz feltehetően elegendő felvehető foszforforma állt rendelkezésre szabadföldön.

Az edafikus tényezők közül még a talajok hőmérséklete és nedvességtartalma, illetve annak ingadozása is hatással lehet a bevitt baktériumokra (Das et al, 2003; Sandhya et al, 2010). Homokos talaj révén a hőmérséklet-ingadozás igen nagyfokú ezen a területen, hiszen hamar melegszik fel és hamar hűl is le a talaj, nincs nagy mennyiségű víztartalma, ami ezt kompenzálni tudná. A tenyészedény kísérletek során állandó hőmérsékletet és vízkapacitást biztosítottunk, így javítva a homoktalajnál ezt a tulajdonságot. Szabadföldön erre viszont nincs lehetőség, az idegenhonos szervezetek ehhez nem alkalmazkodtak, így az könnyen korlátozó tényezővé válhatott számukra.

Számos jelentés szól arról, hogy a talajoltás azért volt sikertelen, mert az őshonos mikroorganizmusok kiszorították az élettérből a bioeffektorokat, azok képtelenek voltak versenyezni az antagonista hatást kiváltó abundáns szervezetekkel. Az őshonos, helyi szervezetek rendre jobban alkalmazkodtak a helyi viszonyokhoz (van Veen et al, 1997; Yarzábal, 2010). Az ökológiai talajok gazdagabb talajéletét szintén figyelembe kell venni az oltás alkalmazása során. Az általunk vizsgált terület 20 éve minősített ökoterület, így valószínűleg a nagy mennyiségű jelenlévő mikroszervezet volt a fő oka, hogy az oltóanyagokkal bevitt organizmusok nem voltak képesek felszaporodni és kifejteni jótékony hatásaikat. Egyes vizsgálatok szerint a helyi izolátumokból előállított oltóanyagok eredményesebbek lehetnek az idegenhonosakkal szemben, éppen azok alkalmazkodó-képessége miatt (Salantur et al, 2006).

Egy nagyon fontos tulajdonságban, a paradicsomtermés beltartalmi értékeiben ugyanakkor megmutatkozott a bioeffektorok kedvező működőképessége, hatása. A Brix-fokban mért cukortartalom és a citromsav-tartalom esetén is a bioeffektorral kezelt területen termesztett paradicsom szignifikánsan magasabb értéket mutatott a kontroll növényekkel összehasonlítva mind a tenyészedény, mind a szabadföldi kísérletekben. Ezáltal egy jobb és harmonikusabb ízhatást érhetünk el a termésekben, amely egy zöldségnövénynél igen fontos szempont a felvevőpiac számára, különösen a sűrítménygyártás esetében.

A talajoltóanyagokban található élő- és élettelen hatóanyagok hatásmechanizmusáról számos eredmény született napjainkra. Ismertek azok az eredmények is, hogy milyen kedvező hatással lehetnek azok a készítmények a növények növekedésére, és az elérhető termésmennyiségekre. Számos szakirodalmi adat bizonyította a talajoltás tényleges hatásait elsősorban a laboratóriumi körülmények között. Ilyen eredmény például a gyökérnövekedés stimulálása fitohormonok termelése révén (Kolbe, 2006; Weinann, 2017; Biró et al, 2018), vagy a

nehezen hozzáférhető foszfátok oldásának az elősegítése (Richardson, 2001; Rodriguez et al, 2006; Park et al, 2017; Sansinenea, 2019), a nitrogén megkötése (Bashan et al, 2004; Park et al, 2017; Sansinenea, 2019), valamint a kórokozók elleni védekezőképesség javítása vagy antagonista hatás csökkentése is (Harman et al, 2004; Kloepper et al, 2004; Ma, 2004; Weller, 2007; Figueiredo et al, 2016). Ezeket az ismereteket napjainkban még nem sikerült kellően hasznosítani a mezőgazdasági gyakorlatban, mivel hiányoznak azok a szabadföldi kísérletek, ahol a talajoltásokat integrált módon lehetne felhasználni a termesztési gyakorlatban. Eredményeink bizonyították, hogy vizsgálni szükséges a teljes rendszerben történő hatékonyságukat is. Nincs kellő ismeret a többtényezős interakciók, a környezeti körülmények és a talajban lévő őshonos szervezetek befolyásoló hatásairól sem. A számos abiotikus és biotikus tényező pedig késleltetheti vagy akár el is nyomhatja a talajoltóanyagoknak kontrollált körülmények közt igazolt jótékony hatásait (Alabouvette et al, 2006; Martinez Viera és Dibut Alvarez, 2006). A sok bizonytalansági tényező ellenére az elmúlt években a kereskedelemben kapható mikrobiális oltóanyagok száma gyorsan növekedett a világpiacon, mind a fejlődő országokban, mind pedig az iparosodott országokban. Ennek egyik oka, hogy a különböző talajokban, az eltérő környezeti körülmények között, vagy a gazdanövény-specifikáció és kompatibilitás kellő hatékonyságának az igazolása nem feltétlenül szükséges a jogi jóváhagyáshoz (Selvamukilan et al, 2006; Whipps és Gerhardson, 2007). A forgalmazók törekednek az univerzális oltóanyagok előállítására. A bennük található mikroorganizmusok szelekciója során figyelmen kívül hagyják a környezeti körülmények és a talajtulajdonságok okozta módosító hatásokat. Ennek kompenzálására egy oltóanyagba több törzset integrálnak, miközben az egymásra gyakorolt hatásukat kevésbé vizsgálják (Ködöböcz et al, 2005).

A disszertációm eredményei alapján az alábbi javaslatokat fogalmazom meg:

- A talajoltóanyagok vizsgálatánál nem csak a termések mennyiségét, hanem minőségi változásait is figyelemmel kell követnünk, hisz azokat is nagyban befolyásolhatják, akár pozitív, akár negatív irányba is.
- A szabadföldi kísérletek nélkülözhetetlenek a talajoltó készítmények (és a bioeffektorok) gyakorlati alkalmazásának a kimunkálásához. A bioeffektív szemlélet szerint nem csak a felhasznált mikroorganizmusok potenciális tulajdonságaira kell figyelemmel lenni, de biztosítani kell azokat a körülményeket is, amelyek lehetővé teszik azok aktivitásának és működőképességének a lehetséges megnyilvánulását is. A jelen dolgozat ezek közül néhány befolyásoló tényezőre hívja fel a figyelmet.
- A szabadföldi kísérleteket több évben is célszerű elvégezni, az évjárathatások megismerése egy fontos lépés a bioeffektorok tulajdonságainak teljeskörű megismerésében.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1) Az oltások hatásának értékelésekor nem elég csak a termésmennyiségre kifejtett eredményességet értékelni. Vizsgálataink igazolták, hogy az oltótörzsek típusától függően a termés minőségi tulajdonságai, így a piacos értékek, vagy a bogyók élvezeti értéke, ízletessége (sav-cukor aránya) is kedvezően változott. A termésnövelőkhöz sorolt talajoltóknál a termés mennyisége mellett a termésvédelemre kifejtett hatások javulásának lehetőségét is figyelembe kell venni.

2) Az általunk vizsgált RhizoVital és Biorex készítmények alapján az egy-egy törzset tartalmazó talajoltóknál a kombinált, több törzset is tartalmazó készítmények összetett hatásait vizsgálataink nem igazolták egyértelműen. Ez azt jelzi, hogy a bevitt mikroorganizmusok kiválasztásánál figyelemmel kell lenni azok potenciálisan szinergista, egymást erősítő tulajdonságaira is.

3) A tenyészedényben történő alkalmazások hatása a homokos talajú, ökológiai minősítésű területen végzett szabadföldi kísérleteknél (Soroksár) nem igazolódott az általunk vizsgált foszformobilizáló *Bacillus* törzseket tartalmazó kereskedelmi készítményeknél. A bevitt törzsek hatását és a gyakorlati „felskálázás” eredményét erősen befolyásolják a környezeti körülmények és a talajban található őshonos mikroszervezetek is, amelyeket a szabadföldi alkalmazásoknál fokozottabban szükséges figyelembe venni.

4) Az általunk vizsgált hazai oltóanyag (Biorex) kedvező hatása a beltartalmi és a piacos értékek tulajdonságaiban nem maradt el a külföldi készítménytől (RhizoVital), ami felhívja a figyelmet és a lehetőséget az ezen a területen történő oltóanyag-fejlesztés hazai lehetőségeire is.

5) A foszfortartalmú tápanyagok kijuttatásának tervezésénél figyelembe kell venni az adott talaj-növény rendszer foszforellátottságát és a foszformobilizálásban közreműködő talajmikroorganizmusok jelenlétét, mennyiségét és kompetíciós képességeit is.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Unió 7-es keretprogram (FP7 / 2007-2013) által támogatott BIOFECTOR projekt célja volt, hogy az európai mezőgazdaságban használt műtrágyákat csökkentsék speciálisan adaptált bioeffektor mikroorganizmusok alkalmazásával, ezáltal növelve az alternatív tápanyagutánpótlás hatékonyságát. A projekt kutatásai során törekedtek az ásványi tápanyagok, energia és a víz nem megújuló erőforrásainak hatékonyabb kezelésére, a talaj termékenységének megőrzésére és a mezőgazdaság káros környezeti hatásainak ellensúlyozására. Kutatásaink során laboratóriumi kontrollált körülmények közt, tenyészedényekben, illetve szabadföldi kísérletekben vizsgáltuk a kereskedelemben is kapható mikrobiológiai talajoltóanyagok biotikus és abiotikus környezeti tényezőkre adott válaszreakcióit. A környezeti tényezők oltóanyagokra gyakorolt hatását a talajok fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságainak, valamint az vizsgált tesztnövény morfológiai és beltartalmi változásán keresztül vizsgáltuk 2014 és 2016 között.

A tenyészedény kísérleteket a Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék (jelenleg Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kertészettudományi Intézet Agrárkörnyezettani Tanszék) fényszobájában, míg a szabadföldi kísérleteket SZIE-KeTK Soroksári kísérleti Üzem és Tangazdaság Ökológiai Gazdálkodás Ágazata (jelenleg MATE Kísérleti Üzem, Ökológiai Gazdálkodás Ágazat) területén végeztük el. A tenyészedényes vizsgálatok időtartama 2 hét palántanevelés és 16 hét tenyészidő volt, míg a szabadföldi vizsgálatok közt 9 hét palántanevelésből és 17 hét tenyészidőszakból álltak. A vizsgálat során *Bacillus* spp-t tartalmazó német (RV - RhizoVital 42 Fl, ABiTEP GmbH) és magyar (BR – Biorex, Chem-Trade Kft.) oltóanyagokat alkalmaztunk a gyártó által előírt mennyiségben.

Tesztnövényként egy féldeterminált, közepes-késői tenyészidejű, szabadföldi termesztésre ajánlott paradicsomfajtát használtunk (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Mobil').

A tenyészedény kísérlet során nitrogén és kálium kiegészítést követően kétféle foszforformát is kevertünk a talajokhoz: könnyen oldódó szuperfoszfátot (TSP), illetve nehezen oldódó nyersfoszfátot (RP). A kontroll edényekbe hozzáadott foszfort, illetve oltóanyagot nem tettünk. Mindkét oltóanyagot (RV; BR) vizsgáltuk a hozzáadott foszforformákkal kombinációban (TSP; RP), illetve azok nélkül is vizsgáltuk hatásukat, négy ismétlésben. A talajoltást két alkalommal végeztük el: magvetéskor, illetve a palánták négyhetes korában.

A szabadföldi kísérleteket a tenyészedény kísérlet eredményei alapján végeztük el. Az előzetes talajvizsgálatok szerint a soroksári talaj foszforban jól ellátott volt, így plusz foszforműtrágyát nem alkalmaztunk az oltóanyagok mellé, csupán nitrogén és kálium kiegészítést adtunk kiültetéskor a palántákhoz. A talajoltást itt is két alkalommal végeztük el: egyszer négyhetes palántakorban, másodszor a növények kiültetésekor. A kísérleteket négy ismétlésben

végeztük el, parcellánként 50 db tesztnövénnyel. A szabadföldi kísérletek első évében kombináltuk a német BE és a magyar BR 2. komponensét, bízva azok szinergista hatásában. Mivel a magyar oltóanyag sem tenyészedényes körülmények közt, sem szabadföldön nem volt kiemelkedő teljesítményű egyszeres és kombinált formában sem, így a következő évtől kivettük a kezelések közül. Mivel a BIOFECTOR projektben belül más készítményeket is vizsgáltak párhuzamosan ezzel a kísérlettel, a szabad területeken új oltóanyagokat próbáltak ki.

Vizsgálataink során az alábbiakat állapítottuk meg:

- A projekt más országainak eredményeivel összhangban a talajoltóanyagok kontrollált tenyészedényes körülmények közt növelték a talajokban a felvehető foszfortartalmat, de szabadföldön ez a hatás már nem mutatkozott meg.
- A fényszobás kísérletekben a növények foszfortartalma arányosan nőtt a talajok foszfortartalmával, de szabadföldön ezt már nem tudtuk kimutatni.
- Tenyészedények talajában vizsgált mikroorganizmusok száma és enzimaktivitása jelentősen megnövekedett, míg szabadföldön a környezeti tényezők, a felvehető foszfortartalom elegendő mennyisége és talajban élő kompetítorok miatt nem volt szignifikáns különbség.
- A paradicsomnak nem csak a vegetatív részeinek tulajdonságát és terméshozamát javították az oltóanyagok, hanem pozitív hatással voltak a termés beltartartalmi értékeire is. Megnövekedett a bogyók cukor- és citromsavtartalma, ami hozzájárul azok ízéhez és zamatosságához. Ez a tulajdonság kertészeti növény révén pedig egy igen fontos szempont.
- Nem tapasztaltunk kiemelkedő különbséget az egyszeres és kombinált talajoltások közt, sőt egyes eredményeknél még antagonista hatásokat is megfigyeltünk, például a paradicsombogyók kémhatásánál vagy a foszfatáz enzimaktivitásnál szabadföldi körülmények között.
- A szabadföldi vizsgálatok során számtalan élő és élettelen környezeti tényező befolyásolhatja az oltóanyagok hatását. Fontos a többéves vizsgálat az időjáráshatás feltérképezésére is. Ezek megismerése egy nagyon komplex, időigényes feladat. Ezzel szemben nélkülözhetetlen feladat a talajoltóanyagok alkalmasságának és működésének teljeskörű megismeréséhez. Ennek ismerete nélkül az alkalmazott bioeffektorok hatásossága és reprodukálhatósága nem garantálható.

8. SUMMARY

BIOFECTOR project which was supported by European Union (FP7 / 2007-2013) is an integrated international project with the aim to reduce input of mineral fertilizers in European agriculture by development of specifically adapted bioeffector microorganisms to improve the efficiency of alternative fertilization strategies. In our study we tested two bioeffector which available on the market in controlled, laboratory pot experiment and on field. We want to know, how biotic and abiotic stresses affect the efficiency of the biofertilizers. The impact of enviromental factors on microorganism was investigated trought physical, chemical and microbioligical properties of soil and the morphological and content changes of the tested plant.

The aim of BIOFECTOR research project is the development of viable alternatives to conventional mineral fertilization, and contribution to a more efficient management of non-renewable resources of mineral nutrients, energy and water, to preserve soil fertility and to counteract the adverse environmental impact of agricultural production. Our study is part of the above mentioned research.

In our research, we examined the responses of commercially available biofertilizers to biotic and abiotic environmental factors under laboratory-controlled conditions, in pots, and on field experiments. The effects of environmental factors on microorganisms was investigated between 2014 and 2016 through the physical, chemical and microbiological properties of the soils and the morphological and content changes of the tested plant.

The pot experiments were in the light room of the Department of Soil Science and Water Management, Faculty of Horticulture at Szent István University (now MATE), while the field experiments were on the Szent István University (now MATE), Experimental and Research Farm in Soroksár. Pot experiments lasted 16 (+2 weeks seedling growth) weeks, while field experiments lasted 17 (+9 weeks seedling growth) weeks. During the study, German (RV - RhizoVital 42 Fl, ABiTEP GmbH) and Hungarian (BR - Biorex, Chem-Trade Kft.) biofertilizers containing *Bacillus spp*. were used in the amounts described in the project or as described by the manufacturer.

Test plant was a semi-determined, medium-late-growing tomato (Solanum lycopersicum L. var. ‘Mobil’).

In the pot experiments, two forms of phosphorus were added to the soils after nitrogen and potassium addition: easily soluble triple superphosphate (TSP) and hard soluble rock phosphate (RP). No phosphorus or microbes was added to the control pots. Both inoculum (RV; BR) were tested in combination with or without added phosphorus forms (TSP; RP), repeated in four times. Biofertilizers were added two times: firstly at sowing and when seedlings’ age were 4th weeks.

The field experiment was based on the results of the pot experiments. According to the previous tests, the soil of Soroksár was well supplied with phosphorus, so we didn't add phosphorus fertilizer to the inoculants, only nitrogen and potassium was added to the seedlings at planting. Biofertilizers were added twice as in the pot experiments: once at the age of four weeks-seedlings, and a second time at planting of the plants. The experiments were repeated four times, with 50 test plants per parcel. In the first year of the field experiments, we combined the German RV and the Hungarian BR2, trusting in their synergistic effects. As the Hungarian inoculum wasn't effective neither in single nor in combined form, neither in pots nor in the field, we left out from the following year's treatments. As other formulations within the BIOFECTOR project were tested in parallel with this experiment, new biofertilizers were tested on the free parcels.

The results of our invastigations were:

- With the results of other countries in the project, soil inoculums increased the uptake of phosphorus in soils under controlled conditions in pot experiment, but this effect was not seen on the field.
- In the light room experiments, the phosphorus content of the plants increased as the phosphorus content of the soils, but we couldn't detect this on the field experiments.
- The number of microorganisms and them enzyme activity were increased significantly in pot, while on the field there was no significant difference because of environmental factors and soli-borne competitors.
- The bioeffectors improved not only the morphology and yield of the tomato, but they also had a positive effect on the content values of the fruits. The sugar and citric acid content of the fruits were increased, which contributes to had better taste and flavor of tomato. This property is a very important aspect in a horticultural plant.
- We did not find significant difference between single and combined inoculums, in some results we even discovered antagonistic effects, such as on the pH of fruits or on the activity of the phosphatase enzyme under field conditions.
- Numerous biotic and abiotiv factors onn field can affect the effects of microorganisms. Multi-year study is very important to map the weather effects. Getting to know them is a very complex, difficult and take a long time. But it is essential to understand the suitability and function of the biofertilizers. Without this knowledge, the effectiveness and reproducibility of the bioeffectors can not be guaranteed.

9. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abeles F.B, Morgan P.W, Saltveit M.E. (1992): Regulation of ethylene production by internal, environmental and stress factors. *Ethylene in Plant. Biol*, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA. 56–119. p.
2. Adesemoye A.O, Kloepper J.W. (2009): Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 85: 1–12. p.
3. Adesemoye A.O, Torbert H.A, Kloepper J.W (2008): Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. *Can. J. Microbiol*, 54: 876–886. p.
4. Adesina M.F, Grosch R, Lembke A, Vatchev TD, Smalla K. (2009): In vitro antagonists of Rhizoctonia solani tested on lettuce: rhizosphere competence, biocontrol efficiency and rhizosphere microbial community response. *FEMS Microbiol. Ecol*, 69: 67–74. p.
5. Afzal A, Bano A. (2008): Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria im prove the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L). *Intern. J. of Agric. and Biol*, 10: 85–88. p.
6. Alabouvette C, Olivain C, Steinberg C. (2006): Biological control of plant diseases: the European situation. *Eur. Journ. of Plant Path*, 114: 329-341. p.
7. Alam S, Khalil S, Ayub N, Rashid M. (2002): In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere. *Intern. Journ. of Agricult. Biol*, 4: 454–458. p.
8. Allison S.D, Gartner T.B, Holland K, Weintraub M, Sinsabaugh RL. (2007a): Soil enzymes: linking proteomics and ecological processes. In: Hurst C. J. et al. (szerk): *Man. of environ. microbiol*, 3rd ed. ASM, Washington, DC, 704–711. p.
9. Allison V.J, Condron L.M, Peltzer D.A, Richardson S.J, Turner B.L. (2007b): Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence, New Zealand. *Soil Biol. Biochem*, 39:1770–1781. p.
10. Amna, Xia Y, Farooq M. A, Javed, M. T, Kamran M. A, Mukhtar T, Chaudhary H. J. (2020): Multi-stress tolerant PGPR *Bacillus xiamenensis* PM14 activating sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) red rot disease resistance. *Plant Phys. and Biochem*, 151: 640-649. p.
11. Ansari R. A, Mahmood I. (2017): Optimization of organic and bio-organic fertilizers on soil properties and growth of pigeon pea. *Scien. Hortic*, 226: 1–9. p.
12. Antibus R.K, Sinsabaugh R.L, Linkins A.E. (1992): Phosphatase activities and phosphorus uptake from inositol phosphate by ectomycorrhizal fungi. *Can. J. Bot.* 70:794–801. p.

13. Antunes P. M, Schneider K, Hillis D, Klironomos J. N. (2007): Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus* intraradices actively mobilize P from rock phosphates? *Pedobiologia* 51: 281-286. p.
14. Arkhipova T. N, Veselov S. U, Melentiev A. I, Martynenko E. V, Kudoyarova G. R. (2005): Ability of bacterium *Bacillus* subtilis to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. *Plant and Soil,* 272: 201-209. p.
15. Arora D, Gaur A. C. (1979): Microbial solubilization of different inorganic phosphates. *Indian Journ. of Experim. Biol*. 17: 1258–1261. p.
16. Asaka O, Shoda M. (1996): Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Appl. Envir. Microbiol,* 62: 4081-4085. p.
17. Aseri G. K, Jain N, és Tarafdar J. C. (2009): Hydrolysis of organic phosphate forms by phosphatases and phytase producing fungi of arid and semi-arid soils of India. *American-Eurasian Journ. of Agric. and Envir. Sci,* 5: 564–570. p.
18. Atieno M, Herrmann L, Okalebo R, Lesueur D. (2012): Efficiency of different formulations of *Bradyrhizobium* japonicum and effect of co-inoculation of *Bacillus subtilis* with two different strains of *Bradyrhizobium japonicum*. *World J. Microbiol. Biotechnol,* 28: 2541–2550. p.
19. Avis T. J, Gravel V, Antoun H., Tweddell R. J. (2008): Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biol. & Bioch,* 40: 1733-1740. p.
20. Bagyaraj D. J, Mehrotra V. S, Suresh C. K. (2002): Vesicular arbuscular mycorrhizal biofertilizer for tropical forest plants. In: Kannaiyan S. (szerk.) *Biotechn. of Biofert*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 299-311. p.
21. Bais H. P, Fall R, Vivanco J.M. (2004): Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. *Plant Phys,* 134: 307-319. p.
22. Balázs S. (szerk.) (1994): Zöldségtermesztők kézikönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 176.p.
23. Baldwin E.A, Nisperos-Carriedo M.O, Baker R, Scott. J.W. (1991): Quantitative analysis of flavour parameters in six parameters in six Florida tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *J. Agric. Food Chem,* 39:1135-1140. p.
24. Banerjee M.R, Yesmin L, Vessey J.K. (2006): Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Rai M. K. (szerk.). *Handbook of Microbial Biofertilizers*, Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Binghamton, USA, 137-181. p.

25. Bangera M.G, Thomashow L.S. (1996): Characterization of a genomic locus required for synthesis of the antibiotic 2,4–diacetylphloroglucinol by the biological control agent *Pseudomonas fluorescens* Q2–87. *Mol. Plant-Microbe Interact*, 9: 83–90. p.
26. Barlog P, Grzebisz W. (2004): Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) Nitrogen uptake dynamics and fertilizer efficiency. *J. Agron. Crop Science,* 190: 314–323. p.
27. Bashan Y, de-Bashan L.E, Prabhu S. R, Hernandez J-P. (2014): Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant Soil,* 378: 1–33. p.
28. Bashan Y, Kamnev A.A, Luz E. (2013): Tricalcium-phosphate is inappropriate as an universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biofertil. Soils,* 49: 465-479. p.
29. Bashan Y, Holguin G, de-Bashan L.E. (2004): *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003). *Can. J. Microb,* 50: 521–577. p.
30. Bashan Y. (1998): Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnol. Adv,* 16: 729–770. p.
31. Bashan Y. (1986): Significance of timing and level of inoculation with rhizosphere bacteria on wheat plants. *Soil Biol. Biochemistry,* 18: 297–301. p.
32. Beni A, Soki E, Lajtha K, Fekete I. (2014): An optimized HPLC method for soil fungal biomass determination and its application to a detritus manipulation study. *J. Microb. Meth*, 103: 124-130. p.
33. Berendsen R.L, Pieterse C.M.J, Bakker P. (2012): The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci,* 17: 478–486. p.
34. Berg G. (2009): Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Appl. Microbio.l Biotechnol,* 84: 11–18. p.
35. Berg G, Opelt K, Zachow C, Lottmann J, Götz M, Costa R, Smalla K. (2006): The rhizosphere effect on bacteria antagonistic towards the pathogenic fungus *Verticillium* differs depending on plant species and site. *FEMS Microbiol. Ecol*, 56: 250–261. p.
36. Bihari Z, Antal Zs, Gyüre P. (2008): Természetvédelmi ökológia *Digitális Tankönyvtár* http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_okologia/ch02s02.html
37. Biró B, Dudás A, Wass-Matics H, Kocsis T, Pabar S, Tóth E, Szalai Z, Kotroczó Zs. (2018): Improved soil and tomato quality by some biofertilizer products. *Acta Agraria Debr*, 150: 93-105. p. https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1706

38. Biró B, Kádár I, Lampis S, Gullner G, Kőmíves T. (2012): Inside and outside rhizosphere parameters and dose-dependent stress alleviation at some chronic metal exposures. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung,* 47: 373-384. p.
39. Biró B, Köves-Péchy K, Vörös I, Takács T, Eggenberg P, Strasser R.J. (2000): Interrelation between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa at sterile, AMF-free or normal soil conditions. *J. Appl. Soil Ecol,* 15:159-168. p.
40. Biswas J.C, Ladha J.K, Dazzo F.B. (2000): Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil Sci. Soc. Am. J,* 64: 1644–1650. p.
41. Blom J, Rueckert C, Niu B, Wang Q, Borriss R. (2012): The complete genome of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* CAU B946 contains a gene cluster for nonribosomal synthesis of iturin A. *Jour. of Bacter,* 194: 1845-1846. p.
42. Borriss R, Chen X.A, Rueckert C, Blom J, Becker A. (2011): Relationship of *Bacillus amyloliquefaciens* clades associated 1 with strains DSM 7T and FZB42: a proposal for *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *amyloliquefaciens* and *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* based on their discriminating complete genome sequences. *Int. J. Sys. Evol. Microbiol,* 61: 1786–1801. p.
43. Brandt S. (2007): A termesztési körülmények és a fajta hatása a paradicsom beltartalmi értékeire Doktori (PhD.) értekezés, Szent István Egyetem Gödöllő
44. Braun S.D, Hofmann J, Wensing A, Weingart H, Ullrich M.S, Spiteller D. (2010): In vitro antibiosis by *Pseudomonas syringae* Pss22d, acting against the bacterial blight pathogen of soybean plants, does not influence in planta biocontrol. *J. Phytopathol,* 158: 288-295. p.
45. Burdman S, Kigel J, Okon Y. (1997): Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Soil Biol. Biochem,* 29: 923-929. p.
46. Burns R.G. (1982): Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem,* 14: 423–427. p.
47. Caldeira A.T, Feio S.S, Arteiro J.M.S, Coelho A.V, Roseiro J.C. (2008): Environmental dynamics of *Bacillus amyloliquefaciens* CCMI 1051 antifungal activity under different nitrogen patterns. *J. Appl. Microbiol,* 104: 808-816. p.
48. Carvalhais L.C, Dennis P.G, Fan B, Fedoseyenko D, Kierul K, Becker A, Wiren N, Borriss R. (2013): Linking Plant Nutritional Status to Plant-Microbe Interactions. PLoS One 8:e68555. DOI: 10.1371/journal.pone.0068555.
49. Catroux G, Hartmann A, Revellin C. (2001): Trends in rhizobial inoculant production and use. *Plant Soil,* 230: 21–30. p.

50. Chabot R, Antoun H, Cescas M. P. (1996): Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli*. *Plant and Soil*, 184: 311-321. p.
51. Chen Y. P, Rekha P. D, Arun A. B, Shen F. T, Lai W.-A, Young C. C. (2006): Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl. Soil Ecology*, 34 (1): 33–41. p.
52. Chen X.H, Koumoutsi A, Scholz R, Eisenreich A, Schneider K. (2007): Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growthpromoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Nat Biotechnol*, 25: 1007–1014. p.
53. Chen X.H, Vater J, Piel J, Franke P, Scholz R. (2006): Structural and functional characterization of three polyketide synthase gene clusters in *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42. *J. Bacteriol*, 188: 4024–4036. p.
54. Chowdhury S.P, Dietel K, Randler M, Schmid M, Junge H. (2013): Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 on lettuce growth and health under pathogen pressure and its impact on the rhizosphere bacterial community. PLoS ONE 8(7): e68818. doi:10.1371/journal.pone.0068818
55. Chro'st R. J. (1991): Environmental control of the synthesis and activity of aquatic microbial ectoenzymes. In: Chro´st RJ (szerk.) *Microbial enzymes in aquatic environments*. *Springer, New York*, 29–59. p.
56. Cong P.T, Dung T.D, Hien T.M, Hien N.T, Choudhury ATMA, Kecskés K.L, Kennedy I.R. (2009): Inoculant plant growth promoting microorganisms enhance utilisation of urea-N and grain yield of paddy rice in southern Vietnam. *Eur. J. Soil Biol*, 45: 52–61. p.
57. Conrath U, Pieterse C.M.J, Mauch-Mani B. (2002): Priming in plant–pathogen interactions. *Trends Plant Sci*, 7: 210–216. p.
58. Conway G, Toenniessen G. (1999): Feeding the world in the twenty-first century. *Nature*, 402: 55-58. p.
59. Csambalik L, Ladányi M, Pusztai P, Gál I, Madaras K, Szalai Z, Ferschl B, Reiter D, Divéky-Ertsey A. (2017): Friss fogyasztási magyar tájfajta paradicsomok termésmennyiségi- és minőségi vizsgálata, *Őstermelő: Gazdálkodók Lapja*, 21 (2): 63. p.
60. Crickmore N. (2006): Beyond the spore – past and future developments of *Bacillus thuringiensis* as a biopesticide. *J. Appl. Microbiol*, 101: 616-619. p.
61. D. 'akur, Kaushal R, Shyam V. (2014): Phosphate solubilising microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plantsa review. *Agric. Reviews*, 35(3): 159–171. p.

62. Danish S, Zafar-ul-Hye M. (2019): Co-application of ACC-deaminase producing PGPR and timber-waste biochar improves pigments formation, growth and yield of wheat under drought stress. *Sci. Rep*. 9: 5999.p.
63. Darvas I, Polgár A. L, Schwarczinger I, Turóczi Gy. (2008): A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon MTA NKI, Budapest ISBN 978-963-87178-2-5.
64. Das K, Katiyar V, Goel R. (2003): 'P' solubilization potential of plant growth promoting *Pseudomonas mutants* at low temperature. *Microbiol. Research*, 158: 359-362. p.
65. Date R.A. (2001): Advances in inoculant technology: a brief review. *Aust. J. Exp. Agr*, 41:321–325. p.
66. Davies J.N, Hobson G. E. (1981): The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype. *Crit. Rev. Food Sci. Technol*, 15:205-280. p.
67. De Vleeschauwer D, Höfte M. (2007): Using *Serratia plymuthica* to control fungal pathogens of plant. *CAB Reviews* 2: 46. p.
68. Deaker R, Roughley R.J, Kennedy I.R. (2004): Legume seed inoculation technology - a review. *Soil. Biol. Biochem*, 36:1275–1288. p.
69. Den Hollander N. G, Bastiaans L, Kropff M. J. (2007): Clover as a cover-crop for weed suppression in an intercropping design. Characteristics of several clovers species. *Eur. J. Agron*, 26: 92-103. p.
70. Dent D. (2000): Insect Pest Management. 2nd Edition. *CABI Publishing*, Wallingford, UK.
71. Deubel A, Gransee A, Merbach W. (2007): Tricalcium-phosphate solubilizing efficiency of rhizosphere bacteria depending on the P-nutritional status of the host plant. In: *Velázquez E. and Rodríguez-Barrueco (eds.). First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Springer*, Dordrecht, The Netherlands, 257-260. p.
72. Devi M, Dhaliwal M. S, Kaur A, Gosal S.S. (2008): Effect of growth regulators on in vitro morphogenetic response of tomato. *Ind. J. Biotechnol*, 7:526-530. p.
73. Dhurjati P, Mahadevan R. (2008): Systems biology: the synergistic interplay between biology and mathematics. *The Can. J. of Chem. Eng*, 86: 127-141. p.
74. Diaz-Zorita M, Fernandez-Canigia M.V. (2009): Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *Eur. J. Soil Biol*, 45: 3–11. p.
75. Di Cesare L.F, Migliori C, Viscardi D, Parisi M. (2010): Quality of tomato fertilized with nitrogen and phosphorous. *Italian J. Food Sci*, 22: 186-191.p.
76. Diamantidis G, Effosse A, Potier P, Bally R. (2000): Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum*. *Soil Biol. Biochem*, 32: 919-927. p.

77. Dinkelaker B, Hengeler C, Marschner H. (1995): Distribution and function of proteoid roots and other root clusters. *Botanica Acta,* 108: 183-200. p.
78. Dirks A. (2004): The *Bacillus* spore coat. *Phytopath,* 94: 1249-1251. p.
79. Djukic I, Kepfer-Rojas S, Kappel Schmidt I, Steenberg Larsen K, Beier C, Berg B, Verheyend K, Seres A, Hornung E, Fekete I, Kotroczó Zs, Tóth Zs. (2018): Early stage litter decomposition across biomes. *Sc. of The Total Envir,* 628-629: 1369-1394. p.
80. Dobbelaere S, Vanderleyden J, Okon Y. (2003): Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sci,* 22: 107-149. p.
81. Dudás A, Szalai Z.M, Vidéki E, Wass-Matics H, Kocsis T, Végvári Gy, Kotroczó Zs, Biró B. (2017a): Sporeforming *Bacillus* bioeffectors for healthier fruit quality of tomato in pots and field. *Appl. Ec. Envir. Res,* 15(4): 1399-1418. p.
82. Dudás A, Kotroczó Zs, Vidéki E, Wass-Matics H, Kocsis T, Szalai M. Z, Végvári Gy, Biró B. (2017b): Fruit quality of tomato affected by single and combined bioeffectors in organically system. *Pak. J. of Agric. Scien,* 54(4): 847-856. p.
83. Egnér H, Riehm H, Domingo W.R. (1960): Untersuchungen über die chemischen Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nahrstoffzustandes der Bödem. II. Chemische Extractionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukh. Annaler,* 26:199-215. p.
84. Ehlers R.U. (2006): Einsatz der Biotechnologie im biologischen Pflanzenschutz. *Schr.reihe Deutsch Phytomed. Ges,* 8:17–31. p.
85. Etesami H, Beattie G.A. (2018): Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. *Front. Microbiol,* 9: 148.p.
86. FAO (2003): World agriculture: Towards 2015/2030 by J. Bruinsma (ed.) UK. *Earthscan Public. Ltd. and Rome,* FAO.
87. Farkas J. (1985): A paradicsom biológiája. 19-63.p. In: Balázs S. (szerk.): Paradicsomtermesztés. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 312 p
88. Fekete I, Varga C, Halasz J, Krakomperger Z, Krausz E. (2008): Study of litter decomposition intensity in litter manipulative trials in Síkfokut Cambisols. *Cer. Res. Com,* 36: 1779-1782. p.
89. Fekete I, Kotroczo Zs, Varga C, Nagy P.T, Varbíro G, Bowden R. D, Toth J. A, Lajtha K. (2014): Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a Central-European deciduous forest. *Soil Biol. Biochem,* 74: 106-114. p.
90. Fenton A.M, Stephens P.M, Crowley J, O'Callaghan M, O'Gara F. (1992): Exploitation of gene(s) involved in 2,4–diacetylphloroglucinol biosynthesis to confer a new biocontrol capability to a *Pseudomonas* strain. *Appl. Environ. Microbiol,* 58: 3873–3878. p.

91. FIBL (Research Institute of Organic Agriculture). (2001): Organic Farming in Europe. Provisional Statistics 2001. Available online at www.organic-europe.net/europe_eu
92. Figueiredo M.V.B, Bonifacio A, Rodrigues A.C, de Araujo F.F. (2016) Plant growth-promoting Rhizobacteria: key mechanisms of action. In: Choudhary DK, Varma A (szerk.) Microbial mediated induced systemic resistance in plants. *Springer*, Singapore, 23–37.p.
93. Forde B, Lorenzo H. (2001): The nutritional control of root development. *Plant and Soil*, 232: 51-68. p.
94. Fritze D. (2004): Taxonomy of the genus *Bacillus* and related genera: the aerobic endospore-forming bacteria. *Phytopath*, 94: 1245-1248. p.
95. Fry William (2008): *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Mol. Plant Pathol*, 9: 385–402. p.
96. Fuentes-Ramirez L. E, Caballero-Mellado J. (2005): Bacterial biofertilizers. In: *Siddiqui ZA (ed) PGPR: Biocontrol and biofertilization. Springer, Dordrecht*, 143–172. p.
97. Füleky Gy. (szerk.) (2004): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. 714 p.
98. Fukumoto J. (1943): Studies on the production of bacterial amylase. Isolation of bacteria secreting potent amylases and their distribution. *J. Agr. Chem. Soc. of Japan*, 19 (7): 487–503. p.
99. Ghaderi A, Oustan S, Olsen P. A. (2008): Efficiency of three *Pseudomonas* isolates in phosphate from and artificial variable charge mineral (iron III hydroxide). *Soil and Environtal*, 27: 71–76.p.
100. Glendining M.J, Dailey A.G, Williams A.G, van Evert F.K, Goulding K.W.T, Whitmore A.P. (2009): Is it possible to increase the sustainability of arable and ruminant agriculture by reducing inputs? *Agric. System*, 99: 117-125. p.
101. Glick B.R, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, McConkey B. (2007): Promotion of plant-growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant Sci*, 6:227-242. p.
102. Glick B.R, Liu C, Ghosh S, Dumbroff E.B. (1997): Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR 12–2. *Soil Biol. Biochem*, 29: 1233–1239. p.
103. Glick B.R. (1995): The enhancement of plant growth by freeliving bacteria. *Can. J. Microbiol*, 41: 109–117. p.
104. Glick B.R, Jacobson C.B, Schwarze M.K, Pasternak J.J. (1994): 1–Aminocyclopropane-1–carboxylic acid deaminase mutants of the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR 12–2 do not stimulate canola root elongation. *Can. J. Microbiol*, 40: 911–915. p.

105. Gowtham H. G, Murali M, Singh S. B, Lakshmeesha T. R, Narasimha Murthy K, Amruthesh K. N, Niranjana S. R. (2018): Plant growth promoting rhizobacteria- *Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. *Biol. Control*, 126: 209-217. p.
106. Graham P. H, Vance C. P. (2000): Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Res*, 65: 93-106. p.
107. Grosch R, Faltin F, Lottmann J, Kofoet A, Berg G. (2005): Effectiveness of 3 antagonistic bacterial isolates to control *Rhizoctonia solani* Kühn on lettuce and potato. *Can. J. Microbiol*, 51: 345–353. p.
108. Gruhn P, Goletti F, Yudelman M. (2000): Integrated nutrient management, soil fertility, and sustainable agriculture: current issues and future challenges. Washington, D.C., USA: International Food Policy Research Institute. Food, Agriculture and Environment Discussion. 32. p.
109. Gulati A, Sharma N., Vyas P. (2010): Organic acid production and plant growth promotion as a function of phosphate solubilization by *Acinetobacter* rhizosphaerae strain BIHB 723 isolated from the cold deserts of the trans-Himalayas. *Arch of Microb*, 192 (11): 975–983. p.
110. Gunnell D, Eddleston M, Phillips M.R, Konradsen F. (2007): The global distribution of fatal pesticide self-poisoning: systematic review. *BMC Public Health*, 21(7): 357. p.
111. Gururani M.A, Upadhyaya C.P, Baskar V, Venkatesh J, Nookaraju A, Park S.W. (2013): Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *J. Plant Growth Regul*, 32: 245–258. p.
112. Gyaneshwar P, Kumar G. N, Parekh L. J, Poole P. S. (2002): Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant Soil*, 245: 83–93. p.
113. Gyaneshwar P, Naresh Kumar G, Parekh L. J. (1998): Effect of buffering on the phosphate-solubilizing ability of microorganisms. *World J. of Microb. Biotech*, 14: 669-673. p.
114. Haas D, Défago G. (2005): Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent *Pseudomonas*. *Nat. Rev. Microbiol*, 3: 307–319. p.
115. Hallmann J, Rodriguez-Kabana R, Kloepper J. W. (1999): Chitin-mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within roots of cotton in relation to nematode control. *Soil Biol. Biochem*, 31: 551–560. p.
116. Halverson L. J, Handelsman J. (1991): Enhancement of soybean nodulation by *Bacillus cereus* UW85 in the field and in a growth chamber. *Appl. and Env. Microb*, 57: 2767-2770. p.

117. Hajjam Y, Cherkaoui S. (2017): The influence of phosphate solubilizing microorganisms on symbiotic nitrogen fixation: perspectives for sustainable agriculture. *J. Mat. and Env. Sci,* 8: 801–808. p.
118. Hariprasad P, Niranjana S.R. (2009): Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and Soil,* 316:13-24. p.
119. Harman G.E, Howell C.R, Viterbo A, Chet I, Lorito M. (2004): *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol,* 2: 43–56. p.
120. Hartmann A, Rothballer M, Schmid M. (2007): Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil,* 312: 7-14. p.
121. Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R, Ahmed I. (2010): Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: A review. *Ann. Microbiol,* 60: 579-598. p.
122. Haynes R. J, Swift R.S. (1988): Effects of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulfur and phosphorus in an acid soil. *Biol. Fertil. Soils,* 6: 153–158. p.
123. Hebbar K.P, Davey A.G, Merrin J, Dart P.J. (1992): Rhizobacteria of maize antagonistic to *Fusarium moniliforme,* a soil-borne fungal pathogen: colonization of rhizosphere and roots. *Soil Biol. Biochem,* 24: 989–997. p.
124. Heidari M, Golpayegani A, (2012): Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Saudi Soc. Agric, Sci*. 11: 57–61. p.
125. Heisey P. W. (2002): International wheat breeding and future wheat productivity in developing countries. *In: Evans, M. (ed.). Wheat Situation and Outlook Yearbook. Market and Trade Economics Division, United States Department of Agriculture, Economic Research Service,* WHS-2002; 43-55. p.
126. Helyes L. (2014): A paradicsom és termesztése. SYCA Szakkönyvszolgálat, Budapest. 233. p.
127. Helyes L, Brandt S, Pék Z, Barna É, Hóvári J, Lugasi A. (2002): Az oltás és a szedési időpont hatása a hajtatott paradicsom beltartalmi összetevőire. Kertgazdaság, 34 (4): 30-35. p.
128. Helyes L, Varga Gy, Dimény J, Pék Z. (1999): The simultaneous effect of variety, irrigaitonand weather on tomato yield. *In: Acta Hortic,* 487: 499- 506. p
129. Herrera F, Castillo J.E, Chica A.F, Bellido L.L. (2008): Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Biores. Technol,* 99: 287-296. p.

130. Herrera-Estrella A, Chet I. (2004): The biological control agent *Trichoderma* from fundamentals to applications. *In: Arora D. K. (szerk.) Fungal Biotech. Agric. Food, and Env. Appl,* Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 147-156. p.
131. Hesammi E, Farshidi A, Talebi A.B.J, Chrazi C. (2014): Advances in environmental biology organic farming and sustainable farming in ecological farming systems in Iran. *Adv. Environ. Biol,* 8: 461-466. p.
132. Hiltner L. (1904): Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. *Arb. der Deutsche Landw. Ges,* 98: 59-78. p.
133. Hoeksema J.D, Chaudhary B.V, Catherine A.G, Johnson N.C, Karst J, Koide R.T, Pringle A, Zabinski Bever J.D.C, Moore J.C, Wilson G.W.T, Klironomos J.N, Umbanhowar J. (2010): A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Ec. Letters,* 13: 394-407. p.
134. Hossner L. R, Freeouf J. A, Felsom B. L. (1973): Solution phosphorous concentration and growth of rice (*Oryza sativa* L.) in flooded soils. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc,* 37: 405-408. p.
135. Hyodo H. (1991): Stress/wound ethylene. *In: The Plant Hormone Ethylene, Mattoo, A.K. and Suttle, J.C., Eds., CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., USA*, 151–189. p.
136. Ibarra-Villarreal A. L, Gándara-Ledezma A, Godoy-Flores A. D, Herrera-Sepúlveda A, Díaz-Rodríguez A. M, Parra-Cota F. I, Santos-Villalobosa S. (2021): Salt-tolerant *Bacillus* species as a promising strategy to mitigate the salinity stress in wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*). *J. of Arid Envir,* 186: 104399.
137. Idriss E. E, Bochow H, Ross H, Borriss R. (2004): Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. VI. Phytohormone like action of culture filtrates prepared from plant growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* FZB24, FZB42, FZB45 and *Bacillus subtilis* FZB37. *J. of Plant Diseases and Prot,* 111: 583-597. p.
138. Idriss E. E, Makarewicz O, Farouk A, Rosner K, Greiner R, Bochow H, Richter T, Borriss R. (2002): Extracellular phytase activity of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 contributes to its plant-growth promoting effect. *Microbiol,* 148: 2097–2109. p.
139. Igual J. M, Valverde A, Cervantes E, Velazquez E. (2001): Phosphates olubilizing bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. *Agronomie,* 21: 561–568. p.
140. Jacobsen B. J, Zidack N. K, Larson B. J. (2004): The role of *Bacillus*-based biological control agents in integrated pest management systems: plant diseases. *Phytopath,* 94: 1272–1275.p.

141. Johnston D. J, Williamson B, McMillan G. P. (1994): The interaction in planta of polygalacturonases from *Botrytis cinerea* with a cell wall-bound polygalacturonase inhibiting protein (PGIP) in raspberry fruits. *J. of Exp. Bot*, 45: 1837-1843. p.
142. Johri B. N, Sharma A, Virdi J. S. (2003): Rhizobacterial diversity in India and its influence on soil and plant health. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol*, 84: 49–89. p.
143. Juhos K, Szabo S, Ladanyi M. (2016): Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecol. Indic*, 63: 366-373. p.
144. Juhos K, Szabo S, Ladanyi M. (2015): Influence of soil properties on crop yield: a multivariate statistical approach. *Int. Agrophysics*, 29: 433-440. p.
145. Juhos K. (2014): Methods of land evaluation and land use planning in international and Hungarian relations. *Földrajzi Közl*, 138: 122-133. p.
146. Kalayu G. (2019): Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. *Int. J. of Agr*, (2019): 7.p. https://doi.org/10.1155/2019/4917256
147. Kamilova F, Kravchenko L. V, Shaposhnikov A. I, Makarova N, Lugtenberg B. (2006): Effects of the tomato pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and of the biocontrol bacterium *Pseudomonas fluorescens* WCS365 on the composition of organic acids and sugars in tomato root exudate. *Mol. Plant-Microbe Inter*, 19 (10): 1121-1126. p.
148. Kamilova F, Validov S, Azarova T, Mulders I, Lugtenberg B. (2005): Enrichment for enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria. *Env. Microbiol.* 7: 1809–1817. p.
149. Kashyap B. K, Solanki M. K, Pandey A. K, Prabha S, Kumar P, Kumari B. (2019): *Bacillus* as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A Promising Green Agriculture Technology. *Plant Health Under Biotic Stress*. 219–236.p.
150. Kátai J, Zsuposné O, Á–Tállai M. (2015): Kőzetőrlemények alkalmazása a fenntartható talajhasználat során. *Debreceni Szemle*, 3: 211–212. p.
151. Kátai J. (szerk.) (2011): Alkalmazott talajtan. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem, Digitális Tankönyvtár
152. Khan A. A, Ghulam J, Akhtar M. A, Naqui S.M.S, Rasheed M. (2009): Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Res. J. Agric. Biol. Sci*, 1: 48-58. p.
153. Khan M. S, Zaidi A, Wani P. A. (2007): Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. *Agr. for Sustainable Development*, 27: 29-43. p.
154. Khan N, Bano A, Rahman M. A, Guo J, Kang Z, Babar Md. A. (2019): Comparative Physiological and Metabolic Analysis Reveals a Complex Mechanism Involved in Drought Tolerance in Chickpea (Cicer arietinum L.) Induced by PGPR and PGRs. *Sci. Rep*, 9:2097.p.

155. Kloepper J.W, Ryu C-M, Zhang S. (2004): Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathol*, 94: 1259–1266. p.

156. Kloepper J.W, Scher F.M, Laliberte M, Tipping B. (1986): Emergence-promoting rhizobacteria: description and implications for agriculture. *In: Iron, Siderophores, and Plant Disease, 155–164. p.* Swinburne, Eds., Plenum Press, New York.

157. Kloepper J.W, Schroth M.N. (1978): Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. *In: Station de Pathologie vegetale et Phyto-bacteriologie. Proceedings of the Fourth International Conference on Plant Pathogen Bacteria 2. INRA, Tours: Gilbert-Clary France*, 879-882. p.

158. Knief C, Frances L, Vorholt J.A. (2010): Competitiveness of diverse *Methylobacterium* strains in the phyllosphere of *Arabidopsis thaliana* and identification of representative models, including *M. extorquens* PA1. *Microb. Ecol*, 60: 440-452. p.

159. Kocsis T, Biró B, Kotroczó Zs. (2017): Time-lapse effect of ancient plant coal biochar on some soil agrochemical parameters and soil characteristics. *Env. Sci.Pollut. Res*, doi: 10.1007/s11356-017-8707-0

160. Koide R.T. (1991): Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 117: 365-386. p.

161. Kolbe H. (2006): Ertragssteigerungen bei homoopathischer Dosis? Was bewirken Algen-Präparate? *Gemüse München* 42 (2): 16-19. p.

162. Kotroczó Zs, Fekete I, Toth J.A, Tothmeresz B, Balazsy. (2008): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. *Cereal Res. Commun*, 36: 663-666. p.

163. Kotroczó Zs, Veres Zs, Fekete I, Krakomperger Zs, Toth J.A, Lajtha K, Tothmeresz B. (2014a): Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation. *Soil Biol. Biochem*, 70: 237-243. p.

164. Kotroczó Zs, Veres Z, Biró B, Toth J.A, Fekete I. (2014b): Influence of temperature and organic matter content on soil respiration in a deciduous oak forest. *Eurasian J. Soil Sci*, 3: 303-310. p.

165. Kour D, Lata Rana K, Yadav A.N, Yadav N, Kumar M, Kumar V, Vyas P, Dhaliwal H.S, Saxena A. K. (2020): Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatal. and Agric. Biotech*, 23:1 01487. p.

166. Ködöböcz L, Kárpáti É, Dusha I, Biró B. (2005): Asszociatív nitrogén-kötő oltóanyagtörzsek túlélőképességét befolyásoló tényezők két potenciális vivőanyagban. *Agrokémia és Talajtan*, 54:177-189. p.

167. Krebs B, Höding B, Kübart S. M, Workie M. A, Junge H, Schmiedeknecht G, Grosch R, Bochow H, Hevesi M. (1998): Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. I. Activities and characterization of *Bacillus subtilis* strains. *J. of Plant Dis. and Protec*, 105: 181-197. p.
168. Kumar A, Kumar A, Patel H. (2018): Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. *Intern. J. of Current Microbiol. and Appl. Sci*, 7(5): 1344–1347. p.
169. Kumar V, Singh P, Jorquera M.A, Sangwan P, Kumar P, Verma A, Agrawal S. (2013): Isolation of phytase-producing bacteria from Himalayan soils and their effect on growth and phosphorus uptake of Indian mustard (*Brassica juncea*). *World J. Microbol. Biotechnol*, 29: 1361–1369. p.
170. Lalitha S. (2017): Plant growth–promoting microbes: a boon for sustainable agriculture. In: *Dhanarajan, A. (Szerk.), Sustainable Agriculture towards Food Security. Springer Singapore, Singapore*, 125–158. p.
171. Lavelle P. (2002): Functional domains in soils. *Eco. Research*, 17: 441-450. p.
172. Leach A.W, Mumford J.D. (2008): Pesticide environmental accounting: a method for assessing the external costs of individual pesticide applications. *Environ. Pollut*, 151: 139–47. p.
173. Leggett M, Gleddie S, Holloway G. (2001): Phosphate-solubilizing microorganisms and their use. *In: Ae N., Arihara J., Okada K., Srinivasan A. (szerk.). Plant Nutrient Acquisition. New Perspectives. Springer-Verlag, Tokyo, Japan*, 299-318. p.
174. Lekfeldt J.D.S, Rex M, Tlustos P, Magid J, de Neergaard A. (2016): Effect of bioeffectors and recycled P-fertiliser products on the growth of spring wheat. *Chem. Biol. Technol. Agric*, 3:22 DOI 10.1186/s40538-016-0074-4
175. Long S.R. (2001): Genes and signals in Rhizobium–legume symbiosis. *Plant Physiol*, 125: 69–72. p.
176. Loper J. E, Kobayashi D. Y, Paulsen I. T. (2007): The genomic sequence of *Pseudomonas fluorescens* Pf-5: insights into biological control. *Phytopath*, 97: 233–238. p.
177. Lugtenberg B, Kamilova F. (2009): Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Ann. Rev. Microbiol*, 63: 541–556. p.
178. Lugtenberg B.J.J, Chin-A-Woeng T.F.C, Bloemberg G.V. (2002): Microbe–plant interactions: principles and mechanisms. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81: 373–383. p.
179. Lundberg P, Åström M. (1990): Low nutritive quality as a defense against optimally foraging herbivores. *The Am. Natur*, 135: 547-562. p.
180. Lynch J. M. (1990): Introduction: some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. *In: Lynch J. M. (szerk.). The rhizosphere. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK*, 1-10. p.

181. Ma J. F. (2004): Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr*, 50: 11-18. p.

182. Mahdi S.S, Hassan G, Samoon S, Rather H, Dar S.A, Zehra B. (2010): Bio-fertilizers in organic agriculture. *J. Phytol*, 2: 42–54. p.

183. Mantelin S, Touraine B. (2004): Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *J. Exp. Bot*, 55: 27–34. p.

184. Martins B. N. M, Candian J. S, de Lima P. N, Correa C. V, de Sousa G, Aline M, da Silva J. Ol, de Sousa S, Falkner M, Cardoso A. I. I. (2017): Effect of phosphorus (P) doses on tomato seedlings production in poor nutrients substrates and its importance on fruit yield. *Australian J. of Crop Sci*, 11 (5): 567-572. p.

185. Martinez Viera R, Dibut Alvarez B. (2006): Practical applications of bacterial biofertilizers and biostimulators. *In: Uphoff N., Ball A. S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. (szerk.). Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Books in Soils, Plants, and the Environment*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA,113: 467-477. p.

186. Matics H, Biró B. (2015): History of soil fertility enhancement with inoculation methods. *J. Central. Eur. Agric*, 16. 2: 231–248. p.

187. Mathu S, Herrmann L, Pypers P, Matiru V, Mwirichia R, Lesueur D. (2012): Potential of indigenous *Bradyrhizobia* versus commercial inoculants to improve cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp.) and green gram (*Vigna radiata* L. wilczek.) yields in Kenya. *Soil Sci. Plant Nutr*, 58: 750–763. p.

188. Matson P. A, Parton W. J, Power A. G, Swift M. J. (1997): Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277: 504-509. p.

189. McLaughlin A, Mineau P. (1995): The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric Ecosys Environ*, 55: 201–212. p.

190. McSpadden Gardener B. B. (2004): Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* spp. in agricultural systems. *Phytopath*, 94: 1252-1258. p.

191. Meharg A. A, Killham K. (1995): Loss of exudates from the roots of perennial ryegrass inoculated with a range of micro-organisms. *Plant and Soil*, 170: 345-349. p.

192. Mengel K, Kirkby E.A. (1987): Principles of plant nutrition. International. Potash Institute Bem, Switzerland. 4th edition. 403-413 p.

193. Mishra P.K, Joshi P, Suyal P, Bisht J.K, Bhatt J.C. (2014): Potential of phosphate solubilising microorganisms in crop production. *In: Bioresources for Sustainable Plant Nutrient Management. Satish Serial Publishing House, New Delhi, India*, 201–222. p.

194. Mittal V, Singh O, Nayyar H, Kaur J, Tewari R. (2008): Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). *Soil Biol.Biochem*, 40 (3): 718–727. p.
195. Mohácsi-Farkas C, Nyirő-Fekete B, Daood H, Dalmadi I, Kisko G. (2014): Improving microbiological safety and maintaining sensory and nutritional quality of pre-cut tomato and carrot by gamma irradiation. *Radiat. Phys. Chem*, 99: 79-85. p.
196. Morrissey J. P, Dow J. M, Mark L, O'Gara F. (2004): Are microbes at the root of a solution to world food production? *EMBO Rep*, 5: 922–926. p.
197. Mosier A. R, Duxbury J. M, Freney J. R, Heinemeyer O, Minami K. (1996): Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. *Plant Soil*, 81: 95–108. p.
198. Mumtaz M. Z, Ahmad M, Jamil M, Hussain T. (2017): Zinc solubilizing Bacillus spp. potential candidates for biofortification in maize. *Microbiol. Res*, 202: 51.60.p.
199. Musarrat J, Khan M. S. (2014): Factors affecting phosphate-solubilizing activity of microbes: current status. *In: Khan M. S., Zaidi A. and Musarrat J. (szerk.). Phosphate Solubilizing Microorganisms. Principles and Application of Microphos Technology. Springer, Cham, Switzerland*, 63-85. p.
200. Nadeem S. M, Naveed M, Zahir Z. A, Asghar H. N. (2013): Plant-microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. *In: Arora N. K. (szerk.). Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances. Springer, New Delhi, India*, 51-103. p.
201. Naureen Z, Rehman N.U, Hussain H, Hussain J, Gilani S.A, Al Housni S.K, Mabood F, Khan A.L, Farooq S, Abbas G, Harrasi A.A. (2017): Exploring the potentials of Lysinibacillus sphaericus ZA9 for plant growth promotion and biocontrol activities against phytopathogenic fungi. *Front. Microbiol*, 8: 1477.p.
202. Neilson A. H, Allard A-S. (2013): Organic Chemicals in the Environment: *Mechanisms of Degradation and Transformation Second ed. Taylor & Francis CRC Press*, 159-162. p.
203. Neumann G. (2007): Root exudates and nutrient cycling. *In: Marschner P. and Rengel Z. (szerk.). Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Germany*, 123-157. p.
204. Nkebiwe P.M, Weinmann M, Müller T. (2016): Improving fertilizer-depot exploitation and maize growth by inoculation with plant growth-promoting bacteria: from lab to field. *Chem. Biol. Technol. Agric*, 3 (15) https://doi.org/10.1186/s40538-016-0065-5
205. Németh T, Várallyay G. (2015): A természeti erőforrások fenntarthatósága. Mi van, ha nincs? *Gazdálkodás*, 59 (3): 201–219. p.

206. Ohno T, Griffin T. S, Liebman M, Porter G. A (2005): Chemical characterization of soil phosphorus and organic matter in different cropping systems in Maine, USA. *Agric. Ecosys. Environ*, 105: 625–634. p.
207. Okon Y. (1994): *Azospirillum*/plant associations. *CRC, Boca Raton*, 175. p.
208. Olander L. P, Vitousek P. M. (2000): Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochem*, 49:175–190. p.
209. Öhlinger R. (1996): Phosphomonoesterase Activity with the Substrate Phenylphosphate *In: Shinner, F, Öhlinger R, Kandeler E. E, Margesin R. (szerk.), Methods in Soil Biol. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany*. 210-217. p.
210. Pandey A, Trivedi P, Kumar B, és Palni L. M. S. (2006): Characterization of a phosphate solubilizing and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a subalpine location in the Indian central himalaya. *Cur. Microb*, 53 (2): 102–107. p.
211. Park Y.G, Mun B.G, Kang S.M, Hussain A, Shahzad R, Seo C.W, Kim A.Y, Lee S.U, Oh K.Y, Lee D.Y, Lee I.J. (2017): *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. *PLoS One* 12: 3.p.
212. Peix A, Rivas-Boyero A. A, Mateos P. F, Rodriguez-Barrueco C, Martínez-Molina E, Velazquez E. (2001): Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. *Soil Biol. Biochem*, 33 (1): 103–110. p.
213. Phillips D. A, Fox T. C, King M. D, Bhuvaneswari T. V, Teubner L. R. (2004): Microbial products trigger amino acid exudation from plant roots. *Plant Physiol*, 136: 2887–2894. p.
214. Piggot P. J, Hilbert D. W. (2004): Sporulation of *Bacillus subtilis*. *Curr. Opin. Microbiol*, 7: 579–586. p.
215. Priest F.G, Goodfellow M, Shute L.A, Berkeley R.C.W. (1987): *Bacillus amyloliquefaciens* sp. nov, nom. rev. *Intern. J. Syst. Bacteriol*, 37 (1): 69–71. p. doi:10.1099/00207713-37-1-69.
216. Raaijmakers J. M, Paulitz C. T, Steinberg C, Alabouvette C, Moenne-Loccoz Y. (2009): The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant Soil*, 321: 341–361. p.
217. Raaijmakers J. M, de Bruijn I, de Kock M. J. (2006): Cyclic lipopeptide production by plant-associated *Pseudomonas* spp.: diversity, activity, biosynthesis, and regulation. *Mol. Plant. Microbe Interact*, 19: 699–710. p.
218. Rahman Syed Ab S.F, Singh E, Pieterse C.M.J, Schenk P.M. (2018): Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Sci*, 267: 102–111.p.

219. Reddy M. S, Kumar S, Babita K, Reddy M. S. (2002): Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. *Biores. Techn*, 84 (2): 187–189. p.
220. Relwani L, Krishna P, Reddy M.S. (2008): Effect of carbon and nitrogen sources on phosphate solubilization by a wild-type strain and UV-induced mutants of *Aspergillus tubingensis*. *Curr. Microbiol,* 57: 401–406. p.
221. Rennie R. J, deFreitas J. R, Ruschel A. P, Vose P. V. (1983): 15N isotope dilution to quantify dinitrogen (N_2) fixation associated with Canadian and Brazilian wheat. *Canadian J. Bot,* 61: 1667-1671. p.
222. Richardson A. E, Hadobas P. A, Hayes J. E, O'Hara C. P, Simpson R. J. (2001): Utilization of phosphorus by pasture plants supplied with myo-inositol hexaphosphate is enhanced by the presence of soil micro-organisms. *Plant and Soil*, 229: 47-56. p.
223. Rodriguez H, Fraga R, Gonzales T, Bashan Y. (2006): Genetics of phosphate solubilization and its potential application for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant and Soil*, 287: 15-21. p.
224. Rodriguez H, Fraga R. (1999): Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth-promotion. *Biotechnol. Adv*. 17: 319-339. p.
225. Rossolini G. M, Schippa S, Riccio M. L, Berlutti F, Macaskie L. E, Thaller M. C. (1998): Bacterial nonspecific acid phosphohydrolases: physiology, evolution and use as tools in microbial biotechnology. *Cell. Mol. Life Sci*, 54: 833–850. p.
226. Roy R. N, Finck A, Blair G. J, Tandon H. L. S. (2006): Plant nutrition for food security: A guide to integrated nutrient management. *Fertil. Plant Nutr. Bulletin*, FAO, Rome, Italy. 16. p.
227. Römheld V, Neumann G. (2006): The rhizosphere: contributions of the soil-root interface to sustainable soil systems. *In: Uphoff N., Ball A. S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P. (szerk.). Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Books in Soils, Plants, and the Environment*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA, 113: 91-107. p.
228. Salamone I. E, Hynes R. K, Nelson L. M. (2005): Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. PGPR: Biocontrol and Biofertilization, *Springer*, 173-195. p.
229. Salantur A, Ozturk A, Akten S. (2006): Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Plant, Soil Envir*, 52: 111-118. p.
230. Saleh-Lakha S, Glick B. R. (2007): Plant growth-promoting bacteria. *In: van Elsas J. D., Jansson J. K. and Trevors J. T. (szerk.). Modern Soil Microbiology. Second Edition (Books*

in Soils, Plants, and the Environment). CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 503-520. p.

231. Salles C, Nicklaus S, Septier C. (2003): Determination and gustatory properties of taste-active compounds in tomato juice. *Food Chem*, 81: 395-402. p.
232. Sambo P, Nicoletto C. (2017): Fertilizers: Criteria of Choice for Vegetable Crops. *In: Tei F, Nicola S, Benincasa P. (szerk) Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Advances in Olericulture. Springer, Cham*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_4
233. Sandhya V, Ali Sk. Z, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B. (2010): Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regul*, DOI 10.1007/s10725-010-9479-4
234. Sansinenea E. (2019): *Bacillus* spp.: As Plant Growth-Promoting Bacteria. In: *Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms, eds H. Singh, C. Keswani, M. Reddy, E. Sansinenea, and C. García-Estrada (Singapore Springer*), 225–237. doi: 10.1007/978-981-13-5862-3_11
235. Sarkadi J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
236. Sariyer T, Oztokat Kuzucu C. (2015): Effects of proline applications on yield and quality parameters in Kapija pepper grown under different irrigation levels-2, Athens: *ATINER'S Conf. Paper Series*, AGR. 2015-1642. p.
237. Satyaprakash M, Nikitha T, Reddi E. U. B, Sadhana B, Vani S. S. (2017): A review on phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. *Int. J. Cur. Microb. Appl. Sci*, 6: 2133–2144. p.
238. Saxena A. K, Shende R, Grover M. (2006): Interactions among beneficial microorganisms. *In: Mukerji K. G., Manoharachary C. and Singh J. (szerk.). Microbial Activity in the Rhizosphere. Springer-Verlag, Berlin, Germany*, 121-137. p.
239. Schippers B, Geels F.R, Hoekstra O, Lamers J.G, Maenhout C.A, Scholte K. (1985): Yield depressions in narrow rotations caused by unknown microbial factors and their suppression by selected pseudomonads *In: Ecology and management of soilborne plant pathogens. St. Paul, Mn. U.S.A: Am. J. Physiol*. 462: 127-130. p.
240. Schmidt B, Domonkos M, Sumalan R, Biró B. (2010): Suppression of arbuscular mycorrhiza's development by high concentrations of phosphorus at *Tagetes patula* L. *Res. J. Agicult. Sci*, 44: 156-162. p.

241. Schnürer J, Rosswall T. (1982a): Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate. *In: Alf Kassen; Nannipieri Paolo (szerk.) (1995) Methods in Applied Soil Microbiology and Biotechnology. Academic Press*. 232-233. p.
242. Schnürer J, Rosswall T (1982b): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Appl. Envir. Microb*, 43:1256-1261. p.
243. Schrey S. D, Tarkka M. T. (2008): Friends and foes: streptomycetes as modulators of plant disease and symbiosis. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 94: 11–19. p.
244. Schulz T. J, Thelen K. D. (2008): Soybean seed inoculant and fungicidal seed treatment effects on soybean. *Crop Sci*, 48: 1975–1983. p.
245. Schweitzer J. A, Bailey J. K, Fischer D. G, LeRoy C. J, Lonsdorf E. V, Whitham T. G, Hart S. C. (2008): Plant-soil-microorganism interactions: heritable relationship between plant genotype and associated soil microorganisms. *Ecology*, 89: 773-781. p.
246. Selvamukilan B, Rengalakshmi R, Tamizoli P, Sudha N. (2006): Village-level production and use of biocontrol agents and biofertilizers. *In: Uphoff N., Ball A. S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. (szerk.). Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Books in Soils, Plants, and the Environment, Volume 113, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA*, 647-653. p.
247. Selvi K. B, Paul J. J. A, Vijaya V, Saraswathi K. (2017): Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques. *Biochemistry and Molecular Biol. Journ*, 3: 1. p.
248. Sen R. (2005): Towards a multifunctional rhizosphere concept: back to the future? *New Phytologist*, 168: 263-266. p.
249. Sharma S. B, Sayyed R. Z, Trivedi M. H, Gobi T. A. (2013): Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2: 587. p.
250. Sharpley A. N, Weld J. L, Beegle D. B, Kleiman P. J. A, Gburek W. J, Moore P. A. Jr, Mullins G. (2003): Development of phosphorus indices for nutrient management planning strategies in the United States. *J. Soil Water Conser*, 58: 137–152. p.
251. Silo-Suh L. A, Stabb E. V, Raffel S. J, Handelsman J. (1998): Target range of zwittermicin A, an aminopolyol antibiotic from *Bacillus cereus*. *Curr. Microbiol*, 37: 6–11. p.
252. Singh R, Kumar A, Singh M, Pandey K.D. (2019): Chapter eleven - isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from *Momordica charantia* L. *In: Singh, A.K., Kumar, A., Singh, P.K. (szerk.), PGPR Amelioration in SustainableAgriculture. Woodhead Publishing*, 217–238. p.

253. Singleton P, Keyser H, Sande E. (2002): Development and evaluation of liquid inoculants, *In: Herridge D (szerk.) Inoculants and nitrogen fixation of legumes in Vietnam. ACIAR Proceedings 109e, Canberra*, 52–66. p.
254. Smilde K. W, Roorda van Eysinga J. P. N. L. (1968): Phosphorus deficiency. *In: Nutritional Diseases in Glasshouse Tomatoes. Published by the Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen*, 13. p.
255. Smith K. P, Handelsman J, Godman R. M. (1999): Genetic basis in plants for interactions with disease-suppressive bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA*, 9: 4786–4790. p.
256. Smith S. E, Read D. J. (1997): Mycorrhizal Symbiosis. Second Edition. Academic Press, San Diego, California, USA.
257. Sobulo R. A, Fayemi A. A, Agboola A. (1975): Nutrient requirements of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in south west Nigeria. II. Foliar analysis for assessing nitrogen, phosphorus, and potassium requirements. *Exp. Agric*, 11: 137–143. p.
258. Soetan K, Olaiya C, Oyewole O. (2010): The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants-A review. *Afr. J. Food Sci*, 4: 200–222. p.
259. Solanki M. K, Wang Z, Wang F-Y. (2017). Intercropping in sugarcane cultivation influenced the soil properties and enhanced the diversity of vital diazotrophic Bacteria. *Sugar Tech*, 19: 136–147. p.
260. Son H-J, Park G-T, Cha M-S, Heo M-S. (2006): Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. *Biores. Techn*, 97 (2): 204–210. p.
261. Steinshamn H, Thuen E, Bleken M. A, Brenoe U. T, Ekerholt G, Yri C. (2004): Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agric Ecosys. Environ*, 104: 509–522. p.
262. Stevens M. A, Kader A. A, Albright- Holton M, Algari M. (1977): Genotypic variation for flavour and composition in fresh market tomatoes. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 102: 680-689. p.
263. Stevenson F. J. (2005): Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. Wiley, Sons, (szerk) New York
264. Sturz A.V, Christie B.R, Matheson B.G. (1998): Associations of bacterial endophyte populations from red clover and potato crops with potential for beneficial allelopathy. *Can. J. Microbiol*, 44: 162–167. p.
265. Swaminathan M. S. (2006): An Evergreen Revolution. *Crop Science*, 46: 2293-2303. p.
266. Swaminathan M. S. (2004): Stocktake on cropping and crop science for a diverse planet. *In: New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop Science*

Congress, Brisbane, Australia, 26 September – 1 October 2004. http://www.cropscience.org.au/icsc2004/plenary/0/2159_swaminathan.htm

267. Szakál P, Schmidt R, Kalocsai R, Giczi Zs, Késmárki I. (2010): Az okszerû trágyázást megalapozó talajvizsgálat jelentõsége és eredményei. *Agro Napló*, 03: 13. p.

268. Taczmann-Bruckner A, Balla C, Mohacsi-Farkas C, Kisko G. (2005): Comparison of biocontrol activity of *Kluyveromyces lactiswith* other yeast strains against *Penicillium expansum*. *Acta Alim*, 34: 71-80. p.

269. Takács T, Cseresnyés I, Kovács R, Keller N, Füzy A. (2016): Effectiveness of single and co-inoculation with *Bradyrhizobium* strains and am fungi on soybean cultivars. *Növénytermelés*, 65: 119-122. p.

270. Tarafdar J. C, Bareja M, Panwar J. (2003): Efficiency of some phosphatase producing soil-fungi. *Indian J. Microbiol*, 43: 27–32. p.

271. Tariq U, Riaz A, Jaskani M.J, Zahir Z.A. (2016): Screening of PGPR isolates for plant growth promotion of *Rosa damascena*. *Int. J. Agric. Biol*, 18: 997-1003. p.

272. Taurian T, Anzuay M. S, Angelini J. G, Tonelli M. L, Ludueña L, Pena D, Ibáñez F, Fabra A. (2010): Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria: screening for plant growth promoting activities. *Plant Soil*, 329: 421–431. p.

273. Taurian T, Soledad Anzuay M, Ludueña L. M, Angelini J. G., Muñoz V, Valetti L, Fabra A. (2012): Effects of single and co-inoculation with native phosphate solubilising strain *Pantoea* sp. J49 and the symbiotic nitrogen fixing bacterium *Bradyrhizobium* sp. SEMIA 6144 on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth. *Symbiosis*, 59: 77-85. p.

274. Tawaraya K, Naito M, Wagatsuma T. (2006): Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Nutr*, 29: 657–665. p.

275. Tállai M. Zsupos, Sándor O. Á. Zs, Kátai J. (2017): The effect of using zeolite on some characteristics of sandy soil and on the amount of the test plant biomass. *Annals of Agr. Sci*, 1: 1–6. p.

276. Terbe I, Slezák K, Kappel N. (2011): Kertészeti és szántóföldi növények fejlődési rendellenességei, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 978-993. p.

277. Thakore Y. (2006): The biopesticide market for global agricultural use. *Ind Biotechnol*, 2: 194–208. p.

278. Thonar C, Lekfeldt J.D.S, Cozzolino V, Kundel D, Kulhánek M, Mosimann C, Neumann G, Piccolo A, Rex M, Symanczik S, Walder F, Weinmann M, de Neergaard A, Mäder P. (2017): Potential of three microbial bio-effectors to promote maize growth and nutrient acquisition

from alternative phosphorous fertilizers in contrasting soils. *Chem. Biol. Tech. in Agric,* 4:7 DOI 10.1186/s40538-017-0088-6.

279. Tiago I, Teixeira I, Silva S, Chung P, Verissimo A. (2004): Metabolic and genetic diversity of mesophilic and thermophilic bacteria isolated from composted municipal sludge on poly-epsilon-caprolactones. *Curr. Microbiol,* 49: 407–414. p.
280. Tilman D. (1998): The greening of the green revolution. *Nature,* 396: 211–212. p.
281. Timmis K.N. (2002): *Pseudomonas putida*: a cosmopolitan opportunist par excellence. *Env. Microbiol,* 4: 779–781. p.
282. Tiwari S, Prasad V, Lata C. (2019): *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. *New and Future Dev. in Microb. Biotech. and Bioengin,* 43–55.p.
283. Toro M. (2007): Phosphate solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants from tropical savannas: an adaptive strategy to acid soils? *In: Velázquez E. and Rodríguez-Barrueco C. (szerk.). First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Springer, Dordrecht, The Netherlands,* 249-252. p.
284. Tóth E, Borsodi A, Makk J, Romsics Cs, Felföldi T, Jáger K, Vajna B, Ács É, Palatinszky M, Márialigeti K. (2018): Klasszikus és molekuláris mikrobiológiai gyakorlatok. ELTE elektronikus jegyzet. 69-70.p. https://ttk.elte.hu/dstore/document/1152/klassz_mol_mik_lab_gyak_2018_isbn.pdf
285. Tóth J. A, Nagy P. T, Krakomperger Zs, Veres Zs, Kotroczó Zs, Kincses S, Fekete I, Papp M, Lajtha K. (2011): Effect of litter fall on soil nutrient content and pH, and its consequences in view of climate change (Síkfőkút DIRT Project). *Acta Silv. Lign. Hung,* 7: 75-86. p.
286. Treseder K. K, Vitousek P. M. (2001): Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian rain forests. *Ecol,* 82: 946–954. p.
287. Trivedi P, Pandey A. (2008): Plant growth promotion abilities and formulation of *Bacillus megaterium* strain B 388 (MTCC6521) isolated from a temperate Himalayan location. *Indian J. of Microbiol,* 48: 342-347. p.
288. Trotel-Aziz P, Couderchet M, Biagianti S, Aziz A. (2008): Characterization of new bacterial biocontrol agents *Acinetobacter, Bacillus, Pantoea* and *Pseudomonas* spp. mediating grapevine resistance against *Botrytis cinerea*. *Envir. and Experim. Bot,* 64: 21-32. p.
289. Unno Y, Okubo K, Wasaki J, Shinano T, Osaki M. (2005): Plant growth promotion abilities and microscale bacterial dynamics in the rhizosphere of lupin analysed by phytate utilization ability. *Environ. Microbiol,* 7: 396–404. p.
290. Uphoff N. T, Ball A. S, Fernandes E, Herren H. R, Husson O, Palm C, Pretty J, Sanginga N, Thies J. (2006): Understanding the functioning and management of soil systems. *In: Uphoff*

N., Ball A. S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. (szerk.). Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Books in Soils, Plants, and the Environment, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA, 113: 3-13. p.

291. Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud M.L, Touraine B, Moënne-Loccoz Y, Muller D, Legendre L Wisniewski-Dye F, Prigent-Combaret C. (2013): Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front Plant Sci*, 4:1–19.p.
292. Van Loon L. C. (2007): Plant responses to plant growth promoting bacteria. *Eur. J. Plant Pathol,* 119: 243–254. p.
293. Van Veen J. A, van Overbeek L. S, van Elsas J. D. (1997): Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiology and Molecular Biology Reviews,* 61: 121-135. p.
294. Veres Zs, Kotroczo Zs, Magyaros K, Toth J.A, Tothmeresz B. (2013): Dehydrogenase activity in a litter manipulation experiment in temperate forest soil. *Acta Silv. Lign. Hung*. 9: 25-33. p.
295. Veres Zs, Kotroczo Zs, Fekete I, Toth J.A, Lajtha K, Townsend K, Tothmeresz B. (2015): Soil extracellular enzyme activities are sensitive indicators of detrital inputs and carbon availability. *Appl. Soil Ecol,* 92: 18-23. p.
296. Vessey J. K. (2003): Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilisers. *Plant and Soil*, 255: 571-586. p.
297. Vestberg M, Kukkonen S, Saari K, Parikka P, Huttunen J, Tainio L, Devos N, Weekers F, Kevers C, Thonart P, Lemoine M-C, Cordier C, Alabouvette C, Gianinazzi S. (2004): Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry. *Appl. Soil Ecol,* 27: 243-258. p.
298. Villacieros M, Power B, Sánchez-Contreras M, Lloret J, Oruezabal R. I, Martín M, Fernández-Piñas F, Bonilla I, Whelan C, Dowling D. N, Rivilla R. (2003): Colonization behaviour of *Pseudomonas fluorescens* and *Sinorhizobium meliloti* in the alfalfa (*Medicago sativa*) rhizosphere. *Plant and Soil*, 251: 47-54. p.
299. Vitousek P. M, Aber J. D, Howarth R. W, Likens G. E, Matson P. A, Schindler D. W, Schlesinger W. H, Tilman D. G. (1997): Technical report: human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl*, 7: 737–750. p.
300. Wallander H, Johansson L, Pallon J. (2002): PIXE analysis to estimate the elemental composition of ectomycorrhizal rhizo- morphs grown in contact with different minerals in forest soil. *FEMS Microb. Ecol,* 39: 147–156. p.

301. Walpola B. C, Yoon M. (2012): Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review. *African J. of Microb. Res*, 6: 6600–6605. p.

302. Wass-Matics H. (2018): Mikrobiális talajoltóanyagok működőképességét befolyásoló környezeti tényezők vizsgálata, Doktori (PhD) értekezés, Pannon Egyetem Festetics Doktori Iskola. Keszthely

303. Weinann M. (2017): Bio-effectors for improved growth, nutrient acquisition and disease resistance of crops, Doktori (PhD) értekezés, Stuttgart-Hohenheim, 197-206.p. http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2019/1604/pdf/MW_BioFector_2019.pdf

304. Welbaum G. E, Sturz A. V, Dong Z. M, Nowak J. (2004): Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Crit. Rev. in Plant Sci*, 23: 175-193. p.

305. Weller D. M. (2007): *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. *Phytopath*, 97: 250–256. p.

306. Weller D. M. (1988): Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Ann. Rev. of Phytopath*, 26: 379-407. p.

307. Whipps J. M, Gerhardson B. (2007): Biological pesticides for control of seed- and soil-borne plant pathogens. *In: van Elsas J. D., Jansson J. K. and Trevors J. T. (eds.). Modern Soil Microbiology. Second Edition (Books in Soils, Plants, and the Environment). CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA*, 479-501. p.

308. Whipps J. M. (2001): Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experim. Bot*, 52: 487-511. p.

309. Wiebe K. (2003): Linking Land Quality, Agricultural Productivity and Food Security. Agricultural Economic Report 823, Economic Research Service, United States Department of Agriculture, Washington DC.

310. Yan Z, Reddy M. S, Ryu C-M, McInroy J. A, Wilson M, Kloepper J. W. (2002): Induced systemic protection against tomato late blight elicited by plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopath*, 92: 1329-1333. p.

311. Yang J, Kloepper J.W, Ryu. C.H. (2009): Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci*, 14: 1-4. p.

312. Yao A. V, Bochow H, Karimov S, Boturov U, Sanginboy S, Sharipov A. K. (2006): Effect of FZB 24® *Bacillus subtilis* as a biofertilizer on cotton yields in field tests. *Archives of Phytopath. and Plant Protect*, 39: 323-328. p.

313. Yarzábal L. A. (2010): Agricultural development in tropical acidic soils: potentials and limits of phosphate-solubilizing bacteria. *In: Dion P. (szerk.). Soil Biology and Agriculture in the Tropics. Springer-Verlag, Berlin, Germany*, 209-233. p.

314. Yin K, Wang Q, Lv M, Chen L. (2018): Microorganism remediation strategies towards heavy metals. *Chem. Engin. J*, doi:10.1016/j.cej.2018.10.226

<u>További hivatkozások:</u>

Link_1: https://termesnovelo.nebih.gov.hu/Engedelykereso/kereso

Link_2: http://www.biofector.info/

Link_3: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=celex:32008R0889

Link_4: http://biorex.chemtrade.hu/product.html

Link_5: https://www.biofector.info/mediapool/137/1375686/data/BIOFECTOR_Final_report-20171109_27289_.pdf

<u>Szabványok:</u>

MSZ 20135:1999 A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása

MSZ-08-1783-28:1985 Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok foszfortartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel

MSZ EN 12143:1998 Gyümölcs- és zöldséglevek. Az oldható szárazanyag-tartalom becslése. Refraktometriás módszer

MSZ EN 1132:1995 Gyümölcs- és zöldséglevek. A pH-érték meghatározása

MSZ 21470-77:1988 Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Mikrobiológiai vizsgálatok

10. MELLÉKLETEK

M1: Kísérletek beállítása előtti talajvizsgálatok eredményei

1. mintavétel: 2014
2. mintavétel: 2015
3. mintavétel: 2016

BÁLINT ANALITIKA Kft. Laboratórium 17-2/91-93

Talajminták kémiai vizsgálata 1:2,5-es desztillált vizes kivonatból

(az eredmények a kivonatra vonatkoznak)

Beérkezés dátuma: 2017.03.28.

Minta laboratóriumi kódja	Minta jele	*A mintaelőkészítés kezdete/a vizsgálat vége*	pH
17-2/91	**2014**	03.30./04.04.	**7,70**
17-2/92	**2015**	03.30./04.04.	**7,75**
17-2/93	**2016**	03.30./04.04.	**7,89**

Talajminták kémiai vizsgálata 1:2,5-es kálium-klorid-oldatos kivonatból

(az eredmények az eredeti mintára vonatkoznak)

Beérkezés dátuma: 2017.03.28.

Minta laboratóriumi kódja	Minta jele	*A mintaelőkészít és kezdete/a vizsgálat vége*	Szulfát [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Nitrát-N [mg/kg]	Nitrit-N [mg/kg]
17-2/91	**2014**	*03.30./04.04.*	**105**	**283**	**3,4**	**0,54**
17-2/92	**2015**	03.30./04.04.	**103**	**148**	**100**	**0,08**
17-2/93	**2016**	03.30./04.04.	**113**	**112**	**42**	**0,25**

Talajminták kémiai vizsgálata 1:20-as ammónium-laktát-oldatos kivonatból

(az eredmények az eredeti mintára vonatkoznak)

Beérkezés dátuma: 2017.03.28.

2017.04.05.

Talajminták kémiai vizsgálata 1:2-es kálium-klorid +EDTA-oldatos kivonatból (az eredmények az eredeti mintára vonatkoznak)

Beérkezés dátuma: 2017.03.28.

Minta laboratóriumi kódja	**Minta jele**	***A mintaelőkészítés kezdete/a vizsgálat vége***	**Arany-féle kötöttség**	Vízoldható összes sótartalom **[m/m%]**
17-2/91	**2014**	***03.30./03.31.***	**26**	**<0,02**
17-2/92	**2015**	***03.30./03.31.***	**30**	**<0,02**
17-2/93	**2016**	***03.30./03.31.***	**35**	**<0,02**

M2: Kiindulási talaj vizsgálati eredményei (Velence, 2014)

1. minta: 0-20 cm
2. minta: 20-40 cm
3. minta: 40-60 cm mélységből

Minta azon.	1	2	3
pH(KCl)	7,10	7,29	7,39
KA	24	24	24
Sótartalom m/m %	< 0,02	< 0,02	< 0,02
CaCO3 m/m %	5,3	4,6	4,6
Humusz m/m %	1,46	1,39	1,23
NO2+NO3-N mg/kg	7,55	15,4	6,81
P2O5 mg/kg	769	923	890
K2O mg/kg	221	190	156

.

Talaj tápanyagvizsgálati módszerek, eszközök, mérési bizonytalanság

Vizsgálat neve	Módszer	Készülék	Bizonytalanság
pH(KCl)	MSZ-08-0206-2: 1978	Digitális pH mérő, Radelkis OP-300, Sentron	±0,05
Kötöttség (KA)	MSZ-08-0205: 1978	Kötöttségkeverő gép LR 40	1.0-3.0
Összes só	MSZ-08-0206-2: 1978	Konduktométer, Radelkis OK-102/1	5-7.5 rel. %
$CaCO_3$	MSZ-08-0206-2: 1978	Kalciméter, Labor MIM	5-7.5 rel. %
Humusz	MSZ-08-0452: 1980	Spectronic Genesys 5	2.5-7.5 rel. %
P2O5	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E	2.5-5 rel. %
K2O	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E	2.5-5 rel. %
Na	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E	4-7.5 rel. %
$(NO_3 + NO_2)$ -N	MSZ 20135:1999	FIAstar, TECATOR	5-10 rel. %
Mg	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E	2.5-5 rel. %
SO4-S	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61 E	2.5-5 rel. %
Zn	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61 E	5-10 rel. %
Cu	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61 E	5-10 rel. %
Mn	MSZ 20135:1999	ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61 E	4-7.5 rel. %

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hatalmas hálával tartozom témavezetőmnek, Dr. Biró Borbálának, aki szakmai tudásával, tanácsaival és soha nem szűnő lelkesítésével kísérte utamat. Nélküle ez a disszertáció nem jöhetett volna létre.

Köszönöm Dr. Végvári Györgynek és Dr. Kardos Leventének, hogy megteremtették számomra a technikai hátteret a kísérletek elvégzéséhez.

Külön köszönettel tartozom Dr. Kotroczó Zsolt kollégámnak, aki a legnehezebb pillanatokban sem hagyta, hogy feladjam.

Köszönöm a Talajtan- és Vízgazdálkodás Tanszék minden dolgozójának és a Biofector projektben résztvevő társaimnak önzetlen és hatékony munkásságát.

Köszönöm férjemnek és a családomnak a türelmet, a biztatást és a nyugodt légkör megteremtését.

A BIOFECTOR projektet az Európai Unió 7-es keretprogramja támogatta (FP7/2007-2013).