



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**BIOEFFEKTOR TALAJJOLTÓK HATÁSA A PARADICSOMRA ÉS  
A TALAJ FOSZFORHASZNOSULÁSÁRA**

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

DOI: 10.54598/001130

**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

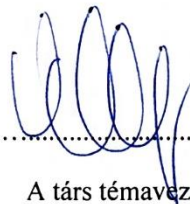
Társ témavezető: Dr. Végvári György, egyetemi tanár, C.Sc.

Eszterházy Károly Egyetem, Szőlészeti és Borászati Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  


A témavezető jóváhagyása

.....  


A társ témavezető jóváhagyása

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK</b> .....	1
<b>2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK</b> .....	3
<b>2.1. A kísérletek beállítása</b> .....	3
<b>2.2. Vizsgálati módszerek</b> .....	3
<b>2.3. Az adatok kiértékelése</b> .....	4
<b>3. EREDMÉNYEK</b> .....	5
<b>3.1. A mikrobiális oltások hatása a talajtulajdonságokra</b> .....	5
3.1.1. Az oltások és a foszfor felvehetősége .....	5
3.1.2. A biológiai tulajdonságok alakulása.....	5
<b>3.2. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsomnövényre</b> .....	6
3.2.1. Az egyedi mikrobás oltások hatásai .....	6
3.2.2. A kombinált mikrobiális oltások hatásai .....	6
<b>3.3. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsom minőségére</b> .....	7
3.3.1. A paradicsom méretei és élvezeti értéke .....	7
3.3.2. A paradicsom piaci tulajdonságai.....	9
<b>3.4. A tenyészedény és szabadföldi kísérletek eredményeinek összehasonlítása</b> .....	9
<b>4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK</b> .....	11
<b>5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK</b> .....	13
<b>6. AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK</b> .....	14

# 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A 21. század egyik legnagyobb kihívása a fenntartható és környezetbarát termesztés kialakítása. 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 lehet ugyanakkor a mikrobiális talajoltóanyagok alkalmazása. A kereskedelemben került mikrobiológiai készítmények olyan biológiailag effektív (bioeffektor) mikroszervezeteket tartalmazó terméknövelő anyagok, melyek a talaj termékenységét javítják, a növény fejlődésére is hatással vannak. Elősegíthetik továbbá a komposztálási folyamatokat, az emberre nem fertőzőek és a talaj őshonos, eredeti mikroflórájára sincsenek kedvezőtlen hatással. A bioeffektorok eredményessége nem a szerves vagy szervetlen tápanyagok közvetlen talajba juttatásán alapszik, hanem a talajban eredetileg is meglévő anyagok feltárásával és növénybe jutásával, valamint a kedvező növény-mikroba kapcsolat kialakításával fejtik ki hatásukat.

Magyarországon igen széles a választék a bioeffektorokat tartalmazó terméknövelő anyagokból, és ez a nagy kínálat nehezíti a termesztett növényhez legmegfelelőbb oltóanyag kiválasztását. A külső tényezők jelentősen befolyásolhatják ezen talajlakó organizmusok összetételét és számát. A mikroorganizmus-növény kölcsönhatás eredménye erősen függ a növény genotípusától, a talaj mikrobiális közösségének összetételétől és számos környezeti tényezőtől is, mint a hőmérséklet, a fényintenzitás és az egyéb kémiai, fizikai talajtulajdonságok. Jelen kutatási munkában arra kerestük a választ, hogy ezek a tényezők hogyan akadályozhatják az oltóanyagoktól elvárt hatások érvényesülését.

Kísérleteink a talaj termékenységén, az egészséges növények növekedését támogató biológiai folyamatok megértésén és az erőforrások hatékony kihasználásán alapszanak a tenyészedény kísérleteken át a szabadföldi vizsgálatokig, úgynevezett „upscaling” rendszerben. Kutatásainkat az Európai Unió 7-es keretprogram (FP7/2007-2013) által támogatott BIOFEKTOR projekt (*The Use of Bioeffectors in European Crop Production*) keretein belül végeztük.

A terméknövelőkhöz sorolt mikrobiális kereskedelmi oltóanyagok hatásait vizsgáltuk paradicsom tesztnövényrel laboratóriumi és szabadföldi körülmények között az ökológiai gazdálkodás követelményeit figyelembe véve. A kísérletek során a soroksári gyengén humuszos homoktalaj felhasználásával a különböző bioeffektor talajoltások és a foszfor felvehetősége, valamint a paradicsom mennyisége és minősége közötti összefüggéseket kerestük.

Vizsgálataink során az alábbi célokat tűztük ki:

- 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-termékek 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 növény táplálást.
- 5) Feltételeztük, hogy a tenyészedény kísérletek eredményeit a szabadföldi kísérletek is igazolják, a 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. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 2.1. A kísérletek beállítása

A kísérleteinket Mobil paradicsomfajtával (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Mobil'), két helyszínen folytattuk le a 2014-2016. közötti időszakban. Kutatásaink során kereskedelemben is megtalálható biológiailag effektív (bioeffektor) baktériumokat használtunk talajoltásra: egy német oltóanyag (RV - RhizoVital 42 Fl; ABiTEP GmbH; *Bacillus amyloliquefaciens*) és egy, Magyarországon forgalomban lévő kétkomponensű oltóanyag (BR – Biorex, Chem-Trade Kft.; BR-1: *Bacillus subtilis*, *B. thuringiensis*, *B. megaterium*; BR-2: *Azotobacter chroococcum*; *Azospirillum lipoferum*; *Pseudomonas putida*) összehasonlítását, illetve kombinációjának hatását vizsgáltuk.

A tenyészedény kísérleteket a MATE Kertészettudományi Intézet Agrárkörnyezettani Tanszék fényszobájában végeztük, kontrollált körülmények között: nappal 14 000 LUX, 14 óra megvilágítás mellett, 22°C-on, éjszaka pedig megvilágítás nélkül, 10 óra, 18°C hőmérsékleten, 40%-os vízkapacitású talajban neveltük a kísérleti növényeket 2 hét palántanevelés és 16 hét vegetációs időn keresztül. Kétféle foszfor műtrágyát adtunk a vizsgált talajokhoz: 1) vízdékony, könnyen felvehető tripla-szuperfoszfátot /TSP/, illetve 2) lassan feltáródó, a növények számára nehezen felvehető nyersfoszfátot /RP/. Az oltóanyagokat (RV és BR) a gyártók utasítása szerinti koncentrációban adtuk a növényekhez két alkalommal: magvetéskor, illetve a palánták négyhetes korában. A kezeléseket négyszeres ismétlésben állítottuk be.

A szabadföldi kísérleteket a MATE Kísérleti Üzem, Ökológiai Gazdálkodás Ágazatterületén végeztük el, amely több, mint 20 éve minősített ökoterület. 9 héten keresztül fűtetlen fóliasátorban neveltük a palántákat, majd a 10. héten ültettük ki őket szabadföldbe. A vegetációs időszak 17 hétig tartott. Az előzetes talajvizsgálatok alapján a kísérleti helyen a foszfortartalom elegendőnek bizonyult, így kiegészítő tápanyagként csak 29 g/növény Vianot (15.5 % N) és 53 g/növény Patentkálit (30% K<sub>2</sub>O + 18% S + 10% MgO) tettünk az ültetőgödrökbe a nitrogén és kálium utánpótlására. 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. Az első talajoltást a palánták négyhetes korában, a második oltást pedig a palánták szabadföldbe való kiültetésekor végeztük el.

### 2.2. Vizsgálati módszerek

A talajokból kezelésként átlagmintákat vettünk a tápanyag- és mikrobiológiai vizsgálatokhoz, míg a kísérletek bontásakor növénymintákat vettünk. A talajok foszfortartalmának mérését a MSZ

20135:1999 szabvány szerint végeztük el ammónium-laktát (AL) kivonószeres módszerrel. A kísérletek során fenológiai vizsgálatokat végeztünk a palánták 10, 14 és 18 hetes korában. Megmértük növények aktuális hajtáshosszát, virágszámát, bogyószámát, a beteg és egészséges paradicsombogyók arányát, illetve a kísérletek bontásakor növéymintákat gyűjtöttünk és megmértük azok száraz- és nedvestömegét. A levél- és hajtásmintákból elemvizsgálatot végeztünk a MSZ-08-1783-28:1985 szabvány szerint, hogy megállapítsuk azok foszfortartalmát. Az egészséges, ép termésmintákból zúzalékot készítettünk és az MSZ EN 12143:1998 szabvány szerint meghatároztuk azok cukorfokát (Brix fokát), kémhatását, illetve HPLC eszköz segítségével a bogyók cukor- (glükóz, fruktóz) és savtartalmát (citromsav, almasav). A talajok élő sejtszámának meghatározásához MSZ 21470-77:1988 szabvány szerinti legvalószínűbb élő sejtszám-módszert (MPN) alkalmaztuk, míg a mikroorganizmusok által termelt enzimek nyomon követéséhez FDA (fluorescein-diacetát) és foszfatáz enzimvizsgálatokat végeztünk.

### **2.3. Az adatok kiértékelése**

Az eredményeket IBM SPSS Statistics 22 statisztikai és Ms Office Excel programok segítségével értékeltük ki és ábrázoltuk. Az adathalmazok normalitás-vizsgálatát Kolmogorov-Smirnov teszttel végeztük. A szóráshomogenitást F-próbával (Levene's teszt) ellenőriztük. A statisztikai elemzéseket egytényezős variancia-analízissel (ANOVA) készítettük el: a szóráshomogenitás teljesülésekor Tukey próbával végeztünk Post Hoc tesztet, míg a szóráshomogenitás feltételeinek sérülése esetén Games-Howell módszert alkalmaztunk. 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.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. A mikrobiális oltások hatása a talajtulajdonságokra

##### 3.1.1. Az oltások és a foszfor felvehetősége

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. A német oltóanyag (RV) hatékonyabbnak bizonyult, mint a magyar (BR) ( $p < 0,05$ ), de mindkét oltóanyaggal nagyobb foszfortartalmat mértünk a kontroll talajhoz viszonyítva. Ezzel szemben a szabadföldi kísérletek során nem tapasztaltunk összefüggést a különböző oltások és a foszfortartalom növekedése között egyik vizsgálati évben sem.

##### 3.1.2. A biológiai tulajdonságok alakulása

A talajok mikrobiológiai aktivitását többféle módszerrel is vizsgáltuk. A talajban lévő fluoreszcein-diacetát (FDA) aktivitás mérésekor a kontrollhoz és oltóanyaggal nem kezelt talajokhoz (RP, TSP) viszonyítva az oltott talajokban nagyobb volt az enzimaktivitás, de statisztikailag csak a német bioeffektorral (RV) kezelt talajban volt szignifikáns a különbség ( $p = 0,012$ ) a tenyészedény kísérletben. 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. Az eredmények alapján az oltóanyagok nem voltak aktívak hozzáadott foszforforrás nélkül, ám műtrágya hozzáadásával aktivitásnövekedést tapasztaltunk. Különösen igaz volt ez a nyersfoszfáttal kezelt talajokban. Kiemelkedő volt a RV oltás hatása a nehezebben oldódó nyersfoszfát hozzáadásával ( $p = 0,052$ ), 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 ( $p < 0,05$ ). Az eredmények összecsengenek a szakirodalommal is, azaz, ha a talajban elegendő és könnyen felvehető foszforforma van jelen, a foszformobilizáló baktériumok kevésbé aktívak (Allison *et al*, 2007b). 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 nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kezelések között ( $p > 0,05$ ). Az FDA enzimaktivitás során a kontroll talaj értékei közel azonosak voltak a német- (RV) és a magyar (BR) bioeffektor, illetve az általunk kevert kombinációval (RV+BR2) is. A foszfatáz aktivitás eredményei



sem mutattak különbséget a kontrollhoz képest egyik évben sem. Az előzetes talajvizsgálatok során megállapítottuk, hogy a talaj foszforban jól ellátott, így a foszformobilizáló baktériumok valószínűleg 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. Különösen igaz ez az általunk vizsgált szabadföldi területre, amely 20 éve minősített bioterület.

### **3.2. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsomnövényre**

#### **3.2.1. Az egyedi mikrobás oltások hatásai**

Bár a tenyészedény kísérletek során a növények morfológiájában nem mutatkozott különbség a kezelések hatására, a növényi elemtartalom vizsgálatokor bebizonyosodott, hogy a tenyészedényes körülmények közt a növények több foszfort képesek felvenni az oltóanyagok segítségével, mint nélkülük. A német eredetű bioeffektor (RV) baktériummal kezelt növények hajtásaiban több foszfor található, mint a kezeletlen egyedekben. 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 ( $p_{K_{RV}}=0,058$ ;  $p_{RP_{RP+RV}}=0,052$ ;  $p_{TSP_{TSP+RV}}=0,063$ ). Annak ellenére, hogy plusz foszforműtrágyát adtunk a talajokhoz, az önmagában nem változtatott a növények foszfortartalmán. Ennek lehetséges oka, hogy a foszformennyiség elegendő volt már a kiindulási talajban is, nem volt szükség plusz kiegészítésre, a felvehetőseget más tényező akadályozhatta. Bár statisztikailag nem volt kimutatható különbség, a bioeffektorral kezelt növények 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. Szabadföldi körülmények között azonban semmiféle változást nem tapasztaltunk ( $p>0,05$ ). Mind a gyökér-, mind a hajtásvizsgálatok során közel azonos mennyiségben fordult elő foszfor a növényekben, illetve a német és magyar oltóanyag 2. komponensének kombinációja (RV+BR2) pedig még kevesebb foszfort eredményezett.

#### **3.2.2. A kombinált mikrobiális oltások hatásai**

Tenyészedény kísérletekben 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;  $p=0,021$ ) viszonyítva. Ezzel szemben szabadföldi körülmények közt ez a pozitív hatás már nem mutatkozott meg: a kombináció FDA és foszfatáz aktivitása sem volt kiemelkedő az egykomponensű oltóanyagokhoz képest. Bár a talajminták közül a RV+BR2 kombinációval kezeltnek volt a legnagyobb a felvehető foszfortartalma szabadföldön a tenyészedés végére, szignifikáns különbséget szintén nem tapasztaltunk más kezelésekkel összevetve ( $p>0,05$ ). A paradicsom morfológiai vizsgálatainál szintén megállapítottuk, hogy a kombinált oltóanyaggal kezelt növények statisztikailag nem mutattak számottevő különbséget az egykomponensű talajoltással szemben. Minimális különbség mutatkozott ugyan az oltáskombináció javára mind a gyökér, mind a hajtás száraztömegében, de a nagy szórás miatt statisztikailag nem volt kimutatható a különbség ( $p>0,05$ ).

### **3.3. A mikrobiális kezelések hatása a paradicsom minőségére**

#### **3.3.1. A paradicsom méretei és élvezeti értéke**

A paradicsom vegetatív részein kívül vizsgáltuk a termések mennyiségi és minőségi paramétereit is. A tenyészedény vizsgálatok során a termések beltartalmi tulajdonságai kiemelkedőek voltak. 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 mutatott szignifikáns eltérést ( $p=0,44$ ). Az átlagos bogyótömeg mérésekor 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. Közülük is kiemelkedő volt a hozzáadott szuperfoszfát (TSP) és a RhizoVital (RV) kezelt növények terméstömege, illetve ezek kombinációja (TSP+RV). A szabadföldi kísérlet bontásakor átlagos összes bogyószámot és összes bogyótömeget mértünk. Ahogy a többi szabadföldi vizsgálatnál is tapasztaltuk, statisztikailag nem volt különbség az egyes kezelések közt, a kontrollhoz viszonyítva egyik oltás sem növelte sem a bogyók számát ( $p=0,75$ ), sem azok tömegét ( $p=0,119$ ). A magyar oltóanyaggal kezelt növények (BR), csak minimálisan ugyan, de jobb hozamot értek el, mint a német bioeffektorral (RV) kezelték. A német és a magyar oltóanyag kombinációja (RV+BR2) ugyanakkor szintén nem hozta a várt szinergista eredményeket.

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 paradicsom kellemes ízvilágához sok beltartalmi komponens is hozzájárul, mint a különböző cukrok (főként a fruktóz és glükóz), illetve savak (mint az almasav és a citromsav). Ezen paraméterek meghatározásának módja a termések pH értékének és Brix fokának megállapítása, illetve HPLC méréssel a különböző cukrok és savak

koncentrációjának és arányainak a vizsgálatai. A tenyészedény kísérletekben a bogyók kémhatásának mérésekor a legkevésbé savasok a RhizoVital oltóanyaggal kezelt termések voltak. A kontrollhoz képest a hozzáadott foszforformákkal kezelt bogyók savasabbnak bizonyultak, ám a bioeffektorral kezelt párjaik már növelték a bogyók kémhatását, amik így már eltértek az optimális 4-5-ös pH értéktől ( $pH > 5$ ). A feldolgozóipar számára a 4,35 alatti pH a megfelelő, így ebből a szempontból megközelítve az oltóanyagok még inkább rontottak a kémhatásokon. A paradicsomnál vízdoldható szárazanyag-tartalom jellemzően 4-7 °Bx között van (Brandt, 2007). A kísérlet bontásakor gyűjtött ép termések homogenizált terméseiben a kontrollhoz képest kevesebb szacharózt mértünk a Biorex (BR), illetve a nyersfoszfáttal kiegészített Biorex oltóanyaggal (RP+BR) kezelt bogyókban. 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 ( $p=0,014$ ). A glükóz és fruktóz 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 ( $p=0,046$ ). A BR talajoltás és a RP+BR kezelés hatására a cukortartalom kevesebb volt a termésekben, ugyanúgy, ahogy a Brix-fok mérésekor. A citromsav-tartalomnál ugyanazt tapasztaltuk, mint a cukortartalom esetén: BR és RP+BR kezelések hatására a gyümölcsökben 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) kezeléseknél is kevesebb citromsavat és almasavat mértünk.

A szabadföldi kísérletek bontásakor is elvégeztük a pH, Brix és a HPLC-vel végzett vizsgálatokat. A kémhatás esetén szabadföldi körülmények között a RV oltóanyaggal kezelt gyümölcsöké közel azonos volt a kontroll növényével, míg a magyar oltóanyagot is tartalmazó egyedi (BR) és kombinált (RV+BR2) talajoltású bogyók kémhatása kicsit savasabbnak bizonyult (4,5-4,52 pH). 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. A paradicsom terméseinek vízdoldható szárazanyag-tartalma lényegesen alacsonyabb volt, mint a tenyészedényes növényeké. Ez a gyenge Brix érték nagy valószínűséggel a nem megfelelő csapadék-eloszlásnak köszönhető, ugyanis az adott vegetációs időszakban, 2014-ben ez igen kedvezőtlenül alakult. 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. 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. A német bioeffektorral oltott növények itt is kiemelkedő teljesítményűek voltak: a termésminőséget vizsgálva nemcsak a tenyészedény kísérletben, de szabadföldi körülmények között is mutatkoztak statisztikailag szignifikáns különbségek a kezelt és kezeletlen növények között.

### 3.3.2. 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. Ez a két tényező együttes hatása pedig súlyos fitoftórást okozott (*Phytophthora infestans*) vonhat maga után. A paradicsomvésznek is nevezett kórokozó ebben az évben nagy pusztítást okozott a paradicsom- és burgonyaültvényeken egyaránt. A Biorex (BR) oltóanyaggal kezelt területen volt a legnagyobb a termésátlag, mégis a RhizoVital (RV) talajoltású terméseknél volt a legjobb az egészséges-beteg bogyók aránya. Valószínűleg ez az arány a *Bacillus amyloliquefaciens* baktérium biopeszticid hatásának köszönhető, ám a kedvezőtlen környezeti körülmények miatt nem tudta mégsem nagy mértékben kifejteni azt. Statisztikailag azonban egyik kezelés sem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. A 2015-ös év nagyon aszályos volt, ám a csapadékeloszlás sokkal egyenletesebbnek adódott. A fitoftórást okozó betegség nem tudott annyira felszaporodni, mint az azt megelőző évben, az egyenletesebb csapadékeloszlásnak köszönhetően pedig a bogyók sem repedtek fel. 2015-ben kisebb volt a termésátlag, mind darabszámra, mind tömegre, azonban azok között nagyobb volt az egészséges bogyók aránya. A vízhiányos, nem ideális körülmények hatására a bioeffektor is eredményesebben tudott érvényesülni. Bár közel azonos mennyiségű összes bogyószámot kaptunk a kontrollhoz viszonyítva, de a RV kezelt bogyók nagyobb méretűek és karakteresebb ízvilágúak lettek. Statisztikailag a két kezelés (K és RV) összehasonlításakor a bogyótömeg mind az egészséges, mind a beteg terméseknél szignifikánsan nagyobb volt az oltóanyaggal kezelt esetében a kontrollhoz képest.

### **3.4. A tenyészedény és szabadföldi kísérletek eredményeinek összehasonlítása**

Az oltóanyagok eredményességét az igazolja, ha a kontrollált üvegházi kísérletek után a szabadföldi körülmények között is hasonlóan kedvező eredményeket kapunk. Ezt a folyamatot felskálázásnak (upscaling) nevezzük. 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 tudunk kimutatni. A talajok foszfortartalom-vizsgálatánál, kontrollált körülmények között a német eredetű bioeffektorral (RV) kezelt talaj szignifikánsan több foszfort tartalmazott, mint a kontroll talajok ( $p=0,034$ ). A foszformobilizáló *Bacillus amyloliquefaciens* baktérium optimális környezetben, megfelelő vízkapacitás tartása mellett képes volt kimutathatóan több foszfor oldására a talajból. Ezzel szemben a szabadföldi körülmények között közel azonos eredményeket kaptunk a kontroll és a talajoltóanyaggal kezelt területeken. Ezt igazolják a fluoreszcein-diacetát (FDA) aktivitás eredményei is. 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 ( $p_{RV}=0,708$ ;  $p>0,05$ ). Akárcsak a növényi foszfortartalom eredmények esetében is: 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 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 ( $p_{hajtás}>0,05$ ). A kísérletek során csak a beltartalmi értékekben adódtak szignifikáns különbségek a termékek minőségében. A talajoltás hatására javult a termékek összes vízdoldható szervesanyag-tartalma ( $p_{TE}=0,014$ ;  $p_{SZF}=0,019$ ) és citromsav-tartalma is.

A szabadföldi oltások hatástalanságának jelentős okai lehetnek az oltóanyagokat ért abiotikus és biotikus stresszhatások. Ezek közül is a legjelentősebb talán, hogy az oltóanyaggal bevitt mikroorganizmusok nem képesek felszaporodni és a növények gyökerét kolonizálni szabadföldön, mivel a már ott lévő honos szervezetek kiszorítják azokat. Az őshonos (abundáns) mikroorganizmusok, melyek már adaptálódtak az adott terület körülményeihez, jobban képesek a tevékenységüket kifejteni, mint az oltással bevitt baktériumok, melyek a kompetícióban alulmaradhatnak. Kifejezetten igaz ez az általunk vizsgált szabadföldi területre, mely 20 éve minősített ökoterület, ezáltal az őshonos szervezetek nagyobb számban fordulhatnak elő, mint a hagyományos művelésű talajokban. Az a feltevés, miszerint a szabadföldi területen nagy mennyiségben jelenlévő őshonos mikroorganizmusok kiszorítják az oltóanyaggal bevitt szervezeteket, összecseng a projektpartnerek nemzetközi eredményeivel. Megállapították, hogy szabadföldön a bioeffektorok hatékonysága kisebb és kevésbé reprodukálható. A különböző stressztényezők (aszály, szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, tápanyagellátási korlátok) erősen befolyásolják az oltóanyagok kifejeződését a növényekben.

## 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Tenyészedényes, kontrollált körülmények között, inkubált talajban végzett kísérleti eredmények alapján a felhasznált bioeffektorok potenciális foszforoldóknak, növénynövekedést 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.

A talajok típusa szerepet játszik a sikeres talajoltás eredményességében. Az általunk vizsgált soroksári talaj humuszban szegény, homokos textúrájú. A megfelelő számú és minőségű aggregátumok hiánya erősen csökkentheti a talajoltóanyagokban alkalmazott mikroorganizmusok kolonizációs és túlélőképességét. 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. A növények által felvehető foszforformákban gazdag talajokban a baktériumok tevékenysége elenyésző, hatásuk egyáltalán nem érzékelhető a növények növekedésében, amit korábbi adat is alátámaszt (Deubel et al., 2007). A talajvizsgálati eredmények alapján esetünkben a vizsgált soroksári talaj foszforban jól ellátottnak bizonyult, így vélhetően ez is befolyásolta a szabadföldi körülmények között a kívülről bevitt foszforoldó bakteriális kezelések viszonylagos hatástalanságát. A foszfatáz enzimaktivitással is kimutattuk, hogy a mikroorganizmusok tevékenysége gyengébbnek bizonyult, mivel elegendő felvehető foszforforma állt rendelkezésre szabadföldi körülmények között. Számos jelentés szerint a talajoltás azért is sikertelen, mert az őshonos mikroorganizmusok kiszorítják az élettérből a bevitt bioeffektorokat, így azok képtelenek versenyezni azokkal. Az őshonos, helyi szervezetek jobban alkalmazkodtak a helyi viszonyokhoz (van Veen et al, 1997; Yarzabal, 2010). Az ökológiai talajok gazdagabb talajéletét szintén figyelembe kell venni az oltás alkalmazása során. Az általunk vizsgált terület 20 éve minősített ökogazdálkodású, így az adott talaj mikroszervezeteinek száma és kompetíciós képessége is jobb.

A paradicsomtermések beltartalmi értékeiben ugyanakkor megmutatkozott a bioeffektorok kedvező hatása szabadföldi körülmények között is. A Brix-fokban mért cukortartalom és a citromsav-tartalom is a bioeffektor kezelésekre hatására szignifikánsan magasabb értékeket mutatott a kontroll növényekkel összehasonlítva, mind a tenyészedény, mind a szabadföldi kísérletekben. Ezáltal egy jobb és harmonikusabb ízhatást érhetünk el a termésekben, amely a zöldségnövényeknél igen fontos szempont.

A talajoltóanyagokban található élő- és élettelen hatóanyagok hatásmechanizmusáról számos eredmény született már korábban is. Eredményeink bizonyították, hogy vizsgálni szükséges a teljes rendszerben történő hatékonyságukat is. A bizonytalansági tényezők ellenére a kereskedelemben kapható mikrobiális oltóanyagok száma mind a fejlődő országokban, mind pedig az iparosodott országokban is megnőtt. 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. A forgalmazók törekednek az „univerzális” oltóanyagok előállítására, ami elsősorban az ideális növény-mikroba kapcsolatokat veszi figyelembe, de kevés figyelem fordítódik a változó biotikus és abiotikus környezeti tényezők befolyásoló hatásaira.

Eredményeink alapján az alábbi javaslatokat fogalmaztam meg:

A talajoltóanyagok vizsgálatánál nem csak a termések mennyiségét, hanem minőségi változásait, fogyasztási értékeit is figyelemmel kell követnünk, hisz azokra is hatással lehetnek az alkalmazott kezelések. A terméseken túl továbbá hatással lehetnek az oltóanyagok olyan talaj-növény-biomassza tulajdonságokra, amelyek közvetett, indirekt módon fejthetik ki a kedvező tulajdonságaikat.

A szabadföldi kísérletek nélkülözhetetlenek a talajoltó készítmények (és a bioeffektorok) gyakorlati alkalmazásának a pontosabb 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 a bevitt törzsek (élő organizmusok) aktivitásának és működőképességének a lehetséges megnyilvánulását is. A jelen dolgozat ezek közül néhány befolyásoló tényezőre hívja fel a figyelmet.

A szabadföldi kísérleteket több egymást követő évben is célszerű elvégezni; az évjáráthatások megismerése egy fontos lépés a bioeffektorok tulajdonságainak teljeskörű megismerésében és a hatások minél teljesebb körű értékelésében.

## 5. 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 termésmennyiséghez 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 képességeiket is.



## 6. AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### Tudományos folyóiratokban megjelent, lektorált, referált, teljes terjedelmű tudományos közlemények:

1. **Dudás A**, Kotroczó Zs, Vidéki E, Wass-Matics H, Kocsis T, Szalai Z. M, Végvári Gy, Biró B. (2017): Fruit quality of tomato affected by single and combined bioeffectors in organically system, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54(4): 847-856. p.  
**IF: 0,61**
2. **Dudás A**, Szalai Z.M, Vidéki E, Wass-Matics H, Kocsis T, Végvári Gy, Kotroczó Zs, Biró B (2017): Sporeforming *Bacillus* bioeffectors for healthier fruit quality of tomato in pots and field. *Applied Ecology and Environmental Research* 15(4): 1399-1418. p.  
**IF: 0,68**
3. 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: 150 éves a debreceni agrároktatás. Jubileumi kötet. *Agrártudományi Közlemények / Acta Agraria Debreceniensis*, 93-107. p.
4. **Dudás A**, Gáspár T, Kotroczó Zs, Győri A, Wass-Matics H, Keöd Á, Végvári Gy, Biró B. (2014): Egy spórás *Bacillus* oltóanyag hatása a paradicsom növekedésére és terméshozamára *Economica (Szolnok)* 7 (3): 169-174. p.
5. Gáspár T, **Dudás A**, Kotroczó Zs, Wass-Matics, H, Trugly B, Győri A, Szalai Z, Biró B. (2014): Bioeffektor talajoltóanyagok alkalmazási módszerfejlesztése tenyészedény-kísérletben paradicsommal, *Economica (Szolnok)* 7(3): 183-189.p.

### Egyéb:

1. Biró B, Govindu D, Pabar S.A, Kocsis T, **Dudás A**, Kardos L, Kotroczo Zs. (2018): Bioeffective soil-plant-inoculation techniques for improved soil quality and functioning. 9th ICEEE International Conference on „Climatic Changes and Environmental (Bio) Engineering” November, 22-24. 2018. 20.p.  
(Egyéb konferenciakötet)

### Az értekezés témaköréhez közvetve kapcsolódó tudományos, könyvrészlet:

1. Kardos L, **Simonné Dudás A**, Vermes L. (2017) Kommunális szennyvíziszap komposztáló telep környezeti hatásainak értékelése 15 éves adatsorok alapján *In: Blanka, V; Ladányi, Zs (szerk.) Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században: a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai Szeged, Magyarország, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet* 656: 319-323.p.