

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**BIOSZÉN ÉS BIOEFFEKTOR KOMBINÁCIÓK HATÁSA  
HOMOKTALAJOK BIOLÓGIAI TULAJDONSÁGAIRA**

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

**KOCSIS TAMÁS**

Budapest  
2018



## **A doktori iskola**

**megnevezése:** Kertészettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Agrártudományok, növénytermesztési és kertészeti tudományok

**vezetője:** Zámboriné Dr. Németh Éva, egyetemi tanár, D.Sc.  
Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

**Témavezető:** Dr. Biró Borbála, egyetemi tanár, D.Sc.  
Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## Tartalomjegyzék

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK.....	1
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	3
2.1. A kísérletek adatai.....	3
2.2. A kísérletek beállítása.....	3
2.3. Vizsgálati módszerek.....	4
2.4. Az adatok feldolgozása.....	4
3. EREDMÉNYEK.....	5
3.1. A bioszén kockázatai a növény-talaj rendszerben.....	5
3.1.1. <i>A bioszén PAH tartalma.....</i>	5
3.1.2. <i>A bioszén tápelem-adszorpciója tartamhatásban ...</i>	5
3.2. A bioszén előnyei a növény-talaj rendszerben.....	6
3.2.1. <i>A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai.....</i>	6
3.2.2. <i>A talajok biológiai tulajdonságai.....</i>	7
3.4. A bioszén és a bioeffektor kombinációk hatásai.....	9
3.4.1. <i>Bioszén hatása a termésmennyiségre.....</i>	9
3.4.2. <i>Bioszén hatása a paradicsom termésminőségére..</i>	10
4.ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	12
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	13
6. AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK	15

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

A talaj alapvető közege a biológiai produkciónak, amely saját fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságain keresztül, változó mértékben felel az élelmiszer előállítás minőségi és mennyiségi követelményeire (BIRÓ et al., 2010). Magyarország területének 79%-a (~7,4 millió hektár) termőterület, melyből ~5,3 millió hektár áll jelenleg mezőgazdasági művelés alatt (KSH, 2017). A talajok és termékenységük megőrzése ezért fontos gazdasági kérdés.

Hazánkban jelenleg több mint 100-féle biológiai termésnövelő anyag van kereskedelmi forgalomban. Ezek felhasználásának célja a leromlott talajtermékenység, a makro- és mikroelemek felvehetőségének, valamint szerves anyagok dekompozíciós képességének a helyreállítása. Hatásosságukat veszélyezteti, hogy a klímaváltozás és az antropogén hatások következtében a talaj megváltozik (például savanyodás, szikesedés, vegyszermaradványok és nehézfémek felhalmozódása stb. miatt), melyek kihatnak a talaj mikrobióta közösségeire is (KÖDÖBÖCZ et al., 2005). A felsorolt kockázatok mérséklésére a világszerte folyó kutatások egyik ígéretes eszköze a bioszén. **Bioszénnek nevezünk** minden szerves eredetű, oxigénmentes körülmények között nagy hőmérsékleten előállított (pirolizált), nagy széntartalmú és fajlagos felületű, porózus szerkezetű biomassza anyagot. A bioszén szerves anyagok termokémiai bontása során jön létre, vagy állítható elő oxigénhiányos környezetben. A létrejött intakt szerkezetű, porózus aktív-szén a talaj funkcióinak általános javítására is alkalmas lehet, ezáltal mezőgazdasági célú felhasználása, főleg degradált szerkezetű talajokon perspektivikussá válik. Alkalmazása összeegyeztethető a talajkímélő eljárásokkal és az organikus művelési módokkal. Ennek eredményeként csökkenthetővé válik a konvencionális gazdálkodásban, széles körben alkalmazott, de napjainkra már számos esetben kerülendő műtrágyák és a növényvédő szerek felhasználása.

Doktori kutatási témámban elsősorban a talajbiológiai változókat vizsgáltam különböző módon előállított aktív szén (bioszén) termékek alkalmazása mellett.

Vizsgálataim során az alábbi **célkitűzéseket** fogalmaztam meg:

1. Megvizsgálni, hogy a bioszénnek van-e dóziszfüggő alkalmazási limitje, különösen egy alacsony (szén) humusz-tartalmú arenosol talaj fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságaira?
2. Megvizsgálni, hogy a környezeti biotikus és abiotikus tényezők hogyan befolyásolják a talajok és a növény–mikroba kapcsolat alakulását, működőképességét különböző bioszénrel kezelt talajokban?
3. Tanulmányozni, hogy a kísérletben felhasznált kultúrnövények paradicsom (*Solanum lycopersicum*) és kukorica (*Zea mays*) hogyan reagálnak a különböző bioszén dózisokra? Van, vagy lehet-e különbség a gazdanövény-mikroba kapcsolatban és a tápanyag-felvételi dinamikában a bioszén alkalmazásánál?
4. Megvizsgálni a fizikai-kémiai talaj-tulajdonságok mellett a mikrobiológiai tényezők alakulását, kiemelt jelentőséggel a növény-növekedést serkentő, valamint a talajban szintén előforduló potenciálisan kórokozó mikroorganizmusokra.
5. Tanulmányozni a bioszén és a növény-növekedést serkentő baktérium kombinációk hatásait és a szinergista kölcsönhatásokat környezeti stressz-körülmények (tápanyaghiány, szárazság) között.
6. Információkat nyerni arra vonatkozóan, hogy a növény-növekedést serkentő izolátumok gyakorlati alkalmazását lehetséges-e a bioszén alkalmazással együtt optimalizálni?

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. A kísérletek adatai

A kutatás során növényi eredetű bioszén (plant-coal biochar) hatását vizsgáltam gyengén humuszos (H~1,5%) homoktalajon (Arenosol) a Szent István Egyetem, Kísérleti Üzem és Tangazdaságának Ökológiai ágazatában 2015-16 között. A kísérlet során felhasznált bioszén fabrikettből termikus pirolízissel ~650 °C-on előállított szerkezeti humusz volt. Alkalmazásának elsődleges célja a homoktalaj vízgazdálkodási tulajdonságainak javítása és a kijuttatott tápanyagok adszorpció révén történő megkötése. A talaj egyes biológiai tulajdonságainak javulását is vártam az alkalmazásától. A vizsgálatot kisparcellás kísérletben végeztem. A kutatás másik részében, folyékony tápközegben történő felszaporítás után, saját izolálású növénynövekedés-serkentő (bioeffektor) talajbaktérium-oltás hatását vizsgáltam a bioszénrel kezelt talajokon szabadföldi és tenyészedény kísérletekben.

### 2.2. A kísérletek beállítása

A kutatás két részből és két ütemből állt. Szabadföldi és tenyészedényes kísérletekben 2015-ben paradicsomot (*Solanum Lycopersicum* L. var. Mobil) használtunk, míg 2016-ban kukorica (*Zea mays* L.) FAO 370-es DKC 4490 hibrid kísérleti növényeken teszteltem a növény növekedés mértékét, minőségét és ezzel párhuzamosan a talajtulajdonságok alakulását. Szabadföldön a bioszén dózist 4- és 10 t/ha mennyiségben forgattuk be a talaj felső 20 cm-be arányosított kis parcellákban. Tenyészedény kísérletben a bioszén dózisokat, a bemért talaj 0,5-; 1- 2,5-; 5- és 10%-a között adagoltam a talajhoz, kezelésként 8 ismétlésben. A bioeffektor kezeléseknél 5 cm<sup>3</sup> oltóanyaggal,  $1,5 \times 10^8$  sejt/cm<sup>3</sup> titer mennyiségben oltottam be a vetőmagokat egy mezofil, vas-kelátképző talajbaktérium (BE) törzsszel.

### **2.3. Vizsgálati módszerek**

A fényszobás tenyészedény-kísérletben 24 °C-os nappali (14 óra, 14000 LUX) és 18 °C-os éjszakai (10 óra) hőmérsékletet állítottunk be, és 60 %-on tartottam a talaj víztartalmát a teljes szántóföldi vízkapacitás százalékában. A rhizoszférából izolált talaj mikrobiális enzimaktivitását: 1) a dehidrogenáz- (DHA) és 2) a fluorescein diacetát (FDA) enzimek mérésével követtem nyomon.

A kitenyészhető mikroorganizmus csoportok közül vizsgáltam a: 1) mezofil aerob-, 2) fakultatív anaerob baktériumok, 3) a *Pseudomonas* sp. genusz, valamint 4) az összes kitenyészhető gomba (penész és élesztő) sejtszám-alakulását határhígításos módszerrel. A termés-mennyiségi vizsgálatok mellett, paradicsomnál a bogycók oldott szárazanyag tartalmát (Brix-fok) és színanyagát is vizsgáltam. A tesztnövények levél- és szár-maradványaiból, az ott felhalmozódott tápelemek mennyiségét atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) mértük.

### **2.4. Az adatok feldolgozása**

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését IBM SPSS Statistics 20.0 programmal, a függvényillesztést az SPSS és Microsoft Excel program segítségével végeztem. Az eredmények kiértékeléséhez egy- és kéttényezős teljes véletlen elrendezésű statisztikai modellt, varianciaanalízist használtam. Duncan teszt alkalmazásával, az eltérő statisztikai csoportokat más-más betűvel jelöltem. Mindig 5 %-os szignifikancia szinten dolgoztam.

A minták szórás homogenitásának ellenőrzésére Levene's tesztet alkalmaztam. A szórás homogenitás teljesülése esetén Tukey, sérülése esetén Games-Howell post hoc teszttel dolgoztam. A kezelések és a vizsgált indikátorok közötti lineális kapcsolatok meglétét és erősségét Pearson-féle korrelációs együtthatóval vizsgáltam.



### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. A bioszén kockázatai a növény-talaj rendszerben

##### 3.1.1. A bioszén PAH tartalma

Az előkísérletek során 4 különböző bioszén terméket vizsgáltunk 19 féle Policiklikus Aromás Szénhidrogén (PAH-19) vegyület tartalomra és a minőségi összetétel alakulására (**1. táblázat**). Azt tapasztaltuk, hogy az összes általam vizsgált bioszén PAH-19 tartalma többszörösen is meghaladta a 36/2006. (V.18.)-as FVM rendeletben, termésmnövelő anyagokkal szemben támasztott 1 mg/kg-os határértéket. A legtöbb mennyiséget a boksaégetés utáni bioszén-mintákban, legkevesebbet pedig az ellenőrzött körülmények között, magas hőmérsékleten előállított szeparált szarvasmarhatrágyából készült bioszén minták tartalmaztak (3,07 mg/kg).

*1.táblázat. Bioszén minták PAH-19 tartalmának alakulása.*

	1. minta	2. minta	3. minta	4. minta
Alapanyag	boksa-szén	faszén	szeparált trágya / fabrikett (80/20)	szeparált trágya
Előállítási hőmérséklet (°C)	450-550	600-650	650-750	650-750
	PAH vegyületek (mg/kg)			
antracén	0,0948	0,7938	0,1209	0,0909
benzo A antracén	1,6928	0,2864	0,3276	-
benzo B fluorantén	-	0,2086	-	-
benzo A pirén	-	0,2098	-	-
krizén	0,4377	0,6112	7,3454	0,1632
fluorantén	5,3783	1,1874	2,4044	0,8587
fluorén	0,7191	1,3658	0,4437	1,5768
fenantrén	0,1720	-	-	0,3012
pirén	0,8298	-	-	0,0871
Összesen	9,3246	4,6630	10,6419	3,0780

##### 3.1.2. A bioszén tápelem-adszorpciója tartamhatásban

A bioszén nagy fajlagos felülete és porozitása miatt nagy felületet biztosít a kémiai anyagcsere-folyamatokhoz. Ezzel hatást gyakorol a felvehető tápelemek felvételére, megkötve azokat a felületen és így megfelelő vízellátottságot mellett biztosítja a növények folyamatos

tápanyag-ellátását. Gyenge humusz-tartalmú homoktalajokon azonban ez a tápanyag-lekötés azt is eredményezheti, hogy a növények szárazság és vízhiány esetén nem jutnak hozzá megfelelő tápanyagokhoz. A bioszén alkalmazásánál nem megfelelő környezeti körülmények között ezt a hatást is figyelembe kell venni.

A tápelemfeltáródás hosszabb időszakra vonatkozóan a boksa típusú bioszén-előállításnál tanulmányoztam, ahol megállapítottam a lekötött makroelemek feltáródási idejét is az adott rendszerben (KOCSIS et al. 2018).

## **3.2. A bioszén előnyei a növény-talaj rendszerben**

### ***3.2.1. A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai***

A Pearson féle korreláció-analízissel erős összefüggést állapítottam meg a felvehető tápelemek (NPK) és a talaj bioszén által módosított kation csere kapacitása között (**2. táblázat**), valamint az összes nitrogén, a szerves anyag tartalom (izzítás) és a szervesetlen nitrogén tartalom között (**3. táblázat**). Ezek az összefüggések minden esetben szignifikánsak voltak. A bioszén folyamatosan képes megkötni a talaj szervesetlen tápanyagait és szerves összetevőit, ezáltal folyamatos utánpótlást képes biztosítani a termesztett növénykultúrák számára.

A kapott eredmények alátámasztják azt a felvetést, miszerint a talajba kerülő bioszén, annak kertészeti és mezőgazdasági szempontból kulcsfontosságú agrokémiai tulajdonságait hosszabb, a vizsgált területen 20 éven túl is képes volt javítani, és a tápelemek teljes feltáródása csak azt követően indult meg a bioszén degradációval párhuzamosan. (KOCSIS et al. 2018).

2. táblázat: A Pearson féle korreláció-analízis eredménye. Összefüggés a bioszén-tartalmú talajok szervetlen nitrogén, foszfor és kálium-tartalma, valamint a kation-kicserélő kapacitása között (n=4)

	Szervetlen nitrogén	Foszfor	Kálium	Kation csere kapacitás
Szervetlen nitrogén	1			
Foszfor	0,617*	1		
Kálium	0,833**	0,859**	1	
Kation csere kapacitás	0,660*	0,640*	0,695*	1

3. táblázat: A Pearson féle korreláció-analízis eredménye. Összefüggés a bioszén tartalmú talajok összes nitrogén, szerves anyag tartalma és szervetlen nitrogén tartalma között (n=4)

	Összes nitrogén	Szerves anyag tartalom (Izzítás)	Szervetlen nitrogén
Összes nitrogén	1		
Szerves anyag tartalom (Izzítás)	0,866**	1	
Szervetlen nitrogén	0,833**	0,845**	1

\*\* p<0,01 (kétoldali próba) \* p<0,05 (kétoldali próba)

### 3.2.2. A talajok biológiai tulajdonságai

Az obligát- és fakultatív anaerob sejtszám vizsgálata során kiderült, hogy a kísérlet beállításakor, csökkent a kitenyészhető baktériumok mennyisége a talajban. A bioszén edafonra kifejtett hatásának legideálisabb indikátorát kutatva összehasonlítottam a dehidrogenáz-(DHA) és a fluoreszcein diacetát (FDA) enzimek kapcsolatát több talajkémiai és talajbiológiai változóval. A dehidrogenáz enzim aktivitása erős pozitív korrelációban állt a talajból kitenyészhető összes aerob-, fluoreszcein pigment termelő *Pseudomonas* és a gombák biomassza tömegével. Az enzim aktivitás mértékével arányos volt, a növények kálium és magnézium felvétele is. Az FDA aktivitás a DHA mellett szoros összefüggésben állt a vaskelát-képző *Pseudomonas* biomassza mennyiségével a talajban és kapcsolat állt fent az FDA aktivitása és a növények Mg koncentrációja között is (4. táblázat). Az általam vizsgált két enzim (DHA, FDA) aktivitás eredmények igazolták a talajhoz hozzáadott bioszén kedvező hatását. A DHA-val ellentétben az FDA módszer nem csak a sejthez kötött-

de sejten kívüli extracelluláris enzimes folyamatok modellezésére is alkalmas.

11. táblázat. A bioszén kezelés hatásának elemzése korrelációanalízissel – statisztikai értékelés

	DHA	FDA	Aerob	Anaerob	Pseudomonas	Fonolias gomba	Nitrogén	Foszfor	Kálcium	Magnézium	Mangán	Cink
DHA	1											
FDA	,786**	1										
Aerob	,845**	0,576	1									
Anaerob	-0,56	-0,519	-,582*	1								
Pseudomonas	,881**	,765**	,788**	-,797**	1							
Fonolias gomba	,826**	,818**	,648*	-,823**	,960**	1						
Nitrogén	0,409	0,497	,591*	-0,183	0,237	0,168	1					
Foszfor	0,343	0,424	0,409	0,139	0,119	0,042	,807**	1				
Kálcium	,804**	0,521	,833*	-,824**	,917**	,828**	0,23	,089**	1			
Magnézium	,798**	,591*	,814**	-,884**	,935**	,879**	0,264	0,1	,988**	1		
Mangán	-0,007	-0,233	0,328	0,34	-0,272	-0,441	,603*	,598*	-0,093	-0,146	1	
Cink	0,353	0,071	0,517	0,142	0,022	-0,132	,587*	0,533	0,105	0,051	,761**	1

\*\* p<0,01 (kétkiraltal próba)

\*\* p<0,05 (kétkiraltal próba)

### 3.4. A bioszén és a bioeffektor kombinációk hatásai

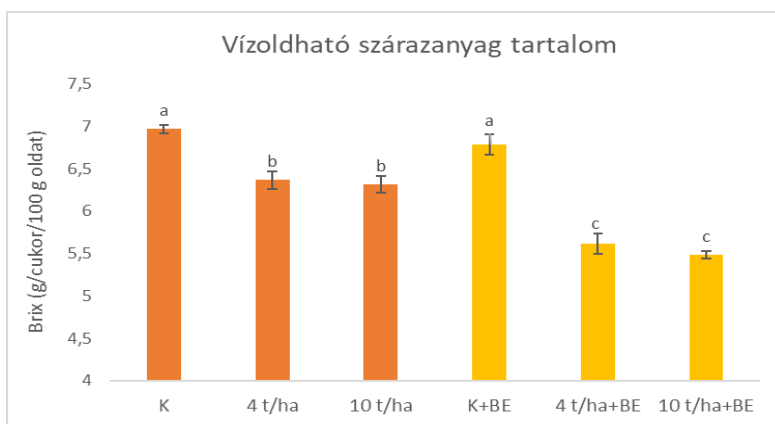
#### 3.4.1. Bioszén hatása a termésmennyiségre

Az általam korábban talajból izolált vaskelát-képző bioeffektor baktérium 16S rRNS gén-szakasz alapján lefolytatott taxonómiai vizsgálatából kiderült, hogy az izolátum az *Alcaligenes* nemzetség (100 %) tagja. Faji szintű azonosítása nem volt eredményes, mert több fajjal is mutatott >98%-os azonosságot.

A talajban lezajló anabolikus és katabolikus folyamatokat vizsgálva, a növény állomány 60%-os virágzásakor (amikor a növény-gyökér szimbionta kapcsolatok a legintenzívebbek), mindkét növénykísérletben szignifikáns ( $p < 0,05$ ) különbséget találtam a kezeletlen kontroll, valamint a 4 t/ha bioszén+BE és a 10 t/ha bioszén+BE kombinált kezelése között. A szárított biomassza tömeg adatai alapján egyes bioszén dózisek kedvezően hatottak a paradicsom hajtás és gyökértömegére tenyészedény kísérletben. A kezeletlen kontroll csoporttól szignifikánsan magasabb hajtás+gyökér tömeget regisztráltam a 0,5- és a 2,5 m/m %-os bioszén kezelések hatására. A B+BE együttes kezelése hatására kisebb különbségeket mértem az egyes kezeléseken belül, mint amikor a bioszén csak önmagában alkalmaztam. A vegetatív biomassza tömeghez hasonlóan a termés vizsgálatok is megfigyelhető volt a bioszén növekvő dóziséval párhuzamos termés mennyiség növekedés, ahol a 10 t/ha bioszén+BE kombináció szignifikánsan magasabb termés mennyiséget eredményezett a kezeletlen- és BE-vel kezelt kontroll parcellákhoz képest, a 2015-ös paradicsom kísérletben. A 2016-os kukorica szabadföldi kísérlet bontásakor szignifikáns különbséget tudtam kimutatni a kontroll csoport, valamint a 10 t/ha bioszén és 4-, 10 t/ha bioszén+BE kezelése között. Mivel nem volt statisztikailag alátámasztható különbség a bioszén- és bioszén+BE csoportok között, ezért a növények biomassza tömegéhez hasonlóan, az ezermagtömeg eredményekben sem jelenthető ki, hogy a kijuttatott *Alcaligenes* oltóanyag pozitív hatással volt a kukorica termésérésére.

### 3.4.2. Bioszén hatása a paradicsom termésminőségére

A paradicsom termés vizsgálatakor, a mennyiség mellett beltartalmi tulajdonságokat is mértem. Annak érdekében, hogy egy növény optimális szüretelési idejét meg tudjuk határozni, továbbá színező élelmiszerként tudjuk értékelni elengedhetetlen a vízdoldható szárazanyag tartalom figyelembevétele. Általában megállapítható, hogy minél magasabb a gyümölcs szárazanyag tartalma, annál kevesebb vizet szükséges elpárologtatni a feldolgozás során a kívánt koncentrációt eléréséhez, vagyis annál nagyobb értéket képvisel (SZALÓKI-DORKÓ, 2016). Szignifikánsan alacsonyabb brix értékeket mértem a bioeffektorral is kezelt bioszén kezelések és az oltóanyag nélküli bioszén kezelések között (**1. ábra**).



1. ábra. A paradicsom-termések vízdoldható szárazanyag tartalma ( $^{\circ}$ Brix) különböző bioszén dózisok hatására szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2015.

A szabadföldi paradicsom kísérlet bontásakor, mért növényenkénti termésátlag szoros negatív lineáris összefüggésben állt a termés vízdoldható szárazanyag-tartalmával (5. táblázat). Ez alapján könnyen elérhető a bogyótömeg növelése víztartalom emelésével (bioszén), ugyanakkor a  $^{\circ}$ Brix szintézise ennél komplexebb folyamat, így a nagyobb bogyók alacsonyabb szárazanyag-tartalommal is

rendelkeznek. Ez a negatív összefüggés a nem öntözött szabadföldi kísérletben jelzi a bioszén hatékony vízmegtartó képességét, ami a növény számára tehát felvehető.

A szabadföldi kísérlet bontásakor leszüretelt termés, préselt majd szűrt nedvének kémhatásában a felhasznált, paraméteres és nem paraméteres próbákkal nem volt lehetséges különbséget kimutatni. Általánosságban elmondható, hogy a paradicsomtermés átlagos savassága 4,27 és 4,40 pH közötti tartományban mozgott.

A paradicsom termés-zúzalék szín vizsgálatának eredményei, a kísérlet során folyamatosan változtak. Általánosságban elmondható, hogy az érési folyamat végére a minták színe az érettségi állapottal arányosan egyre intenzívebb és sötétebb lett ( $L^*$ ). A világossági értékeket Pearson-féle korreláció-analízissel vizsgálva kerestem összefüggést az  $L^*$  érték, a termés mennyisége és a termés vízdoldható szárazanyag tartalma között. Azt az eredményt kaptam, hogy a világossági tényező pozitív lineáris kapcsolatban áll, az egy növényről lekerülő termés mennyiségével, valamint szoros negatív lineáris kapcsolatban az extraktum vízdoldható összes szárazanyag-tartalmával ( $^{\circ}$ Brix) (6. táblázat).

	termés	brix	$L^*$	$a^*$	$b^*$	hajtás+gyökér	DHA
termés	1						
$^{\circ}$ Brix	-,964**	1					
$L^*$	,894*	-,840*	1				
$a^*$	-,201	,391	-,198	1			
$b^*$	-,401	,441	-,559	,773	1		
hajtás+gyökér	,949**	-,897*	,855*	-,083	-,337	1	
DHA	,769*	-,580	,792*	,246	-,295	,811*	1

\*\*  $p < 0,01$  (kétoldali próba)

\*  $p < 0,05$  (kétoldali próba)

**6. táblázat. A bioszén kezelések és bioeffektor kombinációk hatásának elemzése korrelációanalízissel a paradicsom egyes tulajdonságaira– statisztikai értékelés szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2015**

A kezelések pozitív hatást eredményeztek a teméstömegre, ugyanakkor ez a mennyiségi növekedés nem volt arányban a paradicsom bogyók élvezeti értékének a jobbításával.

#### 4.ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kimutattam, hogy a bioszén megköti az arenosol és luvisol talajok felvehető tápanyagait és ezek a megkötött tápelemek hosszú időtartamot követően lassan, fokozatosan tárulnak fel. A boksa-típusú faszén előállításánál a tápelemek feltáródása az adott helyszínen 20-30 évet követően kezdődött el. Megfelelő vízellátottságnál a bioszén folyamatos tápanyag utánpótlást képes biztosítani a termesztett növények számára és a tápelemek talajból történő kilúgzása is mérséklődik.

2. Megállapítottam, hogy a vizsgált bioszén minták policiklikus aromás szénhidrogén (PAH-19) tartalma meghaladta az 1 mg/kg-os határértéket, ezért a 36/2006. (V.18.) FVM rendelet szerint a vizsgált bioszén típusok ilyen formában nem kerülhetnek termésközelítő anyagként forgalomba. Egyéb talajjavítóként történő alkalmazáskor a 129/2007-es talajvédelmi törvény szerint eljárva a talaj PAH-19 tartalmánál szintén az 1 mg/kg-os határértéket kell figyelembe venni.

3. Tenyészedény kísérletek igazolták, hogy az 1m/m %-os bioszén dózis eredményezi a legnagyobb növekedést a paradicsom és kukorica növények tápanyagfelvételére, valamint a dehidrogenáz- és az fluoreszcein diacetát enzimaktivitásra a gyengén humuszos homoktalajon. A talajban lezajló enzimes katabolikus folyamatok intenzitása pozitív összefüggésben áll a kitenyészhető aerob- és fakultatív anaerob, *Pseudomonas*- és a fonalas gomba biomassza tömeggel és arányos a növények kálium és magnézium felvételével is.



4. Különbséget mutattam ki a két kísérleti növény között a bioszén és bioeffektor kezelés kombinációk hatásosságában. Mindkét vizsgálatban a bioszén növekvő dózishatása pozitív lineáris kapcsolatban állt a növényi biomassza mennyiséggel. Míg azonban a paradicsom kísérletben szinergista pozitív hatást regisztráltam a bioszén+bioeffektor oltás kombinált alkalmazásakor, addig a kukorica növény fejlődésénél ez az összefüggés annak nagyobb tápanyagigénye miatt elmaradt.

5. Megállapítottam, hogy a növényi eredetű bioszén javította a gyengén humuszos homoktalaj vízmegtartó képességét, ami így pozitív összefüggésben állt a paradicsom átlagos bogyóméretével, és termésével. A termés oldott szervesanyag tartalma és színvizsgálata során kimutattam, hogy a megnőtt bogyóméret ugyanakkor nem párosult, arányos cukor tartalommal, így annak élvezeti értéke csökkent.

6. A kutatásaim során a talajból izoláltam és azonosítottam egy olyan növény-növekedésserkentő, az *Alcaligenes* genuszhoz tartozó baktérium törzset, amely eredményesen kombinálva a bioszénnel pozitív hatást képes kifejteni a paradicsom terméshozamára.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kedvezőtlen adottságú és degradált talajok rekultivációja, kiemelt jelentőségű, mind a termékenység megőrzése („soil food web”), mind pedig a potenciális termőképesség kihasználása szempontjából. Doktori kutatási témám alapján, megállapítható, hogy a bioszén hatással van a polidiszperz talajrendszer számos kémiai és biológiai tulajdonságára. A kukoricára és paradicsomra egyaránt elmondható, hogy azok magas tápanyag igényű növények, így korlátozott

tápanyag-ellátottság esetén kiemelten fontos kérdéssé válhatnak a tápelemek oldhatósági körülményei. A bioszén felhasználás dózisfüggő optimuma, különbözött a növényi tápanyagfelvételben és a vizsgált talaj biológiai mutatóiban. Míg a tápanyagfelvétel általában 1 m/m%-os dózison tetőzött, addig a talaj kataláz enzim aktivitásának maximuma ennél magasabb dózison, 2,5 %-on volt megfigyelhető. Ennek oka valószínűleg a bioszén jó vízmeztartó képességében keresendő. A bioszén nagy fajlagos felületén a hidratáltabb aerob környezet magasabb sejtszámot eredményezett az obligát aerob és aerotoleráns anaerob talajbióta tömegében. Vizsgálataim alapján a bioszén edafonra kifejtett hatásának modellezésére legideálisabb indikátornak mégis a Dehidrogenáz enzimaktivitás mérése bizonyult. A sejthez kötött enzim aktivitása több tápelemmel (kálium, magnézium) és biológiai paraméterrel (aerob-, anaerob-, *Pseudomonas*-, fonalas gomba biomassza) állt összefüggésben.

A vizsgálatokhoz izolált sziderofor-termelő bioeffektor baktérium a 16S rRNS gén szakasza alapján az *Alcaligenes* nemzetségbe tartozik. Vizsgálataim során a bioeffektor pozitív hatása a növény biomassza termelésére nem volt egyértelmű, ugyanakkor a kezeléseken belül kisebb szórást lehetett tapasztalni. Mivel az általunk használt kisebb bioszén dózis és az oltóanyaggal kezelt kontroll csoportok között nem volt statisztikailag alátámasztható szignifikáns különbség, meggondolandó bizonyos esetekben a bioszén alkalmazása helyett, egy növény specifikus oltóanyag használata, vagy a két technológia kombinálása, különösen a vizsgált gyenge humusztartalmú talajokon.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

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

- Kocsis T**, Biró B, Ulmer Á, Szántó M, Kotroczó Zs (2018): Time-lapse effect of ancient plant coal biochar on some soil agrochemical parameters and soil characteristics. *Environmental Science and Pollution* 25:(2) pp. 990-999. **IF: 2.876**
- Dudás A, Szalai ZM, 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) pp. 1399-1418. **IF: 0,68**
- Dudas A, Kotroczó Zs, Vidéki E, Wass-Matics H, **Kocsis T**, Szalai ZM, 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) pp. 847-856. **IF:0,61**
- Kocsis T**, Kotroczó Zs, Biró B (2017): Bioszén dózisok és bioeffektor baktériumoltás hatása homoktalajon tenyészedény kísérletben. *Talajvédelem* különszám: pp. 53-60.
- Kocsis T**, Biró B, Mátrai G, Ulmer Á, Kotroczó Zs (2016): Növényi eredetű bioszén tartamhatása a talaj szervesanyag-tartalmára és agrokémiai tulajdonságaira. *Kertgazdaság* 48:(1) pp. 89-96.
- Kocsis T**, Biró B (2015): Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok. *Agrokémia és Talajtan* 64:(1) pp. 257-272.
- Kotroczó Zs, Biró B, **Kocsis T**, Veres Zs, Tóth JA, Fekete I (2017): Hosszú távú szerves anyag manipuláció hatása a talaj biológiai aktivitására. *Talajvédelem* különszám: pp. 73-83.
- Biró B, Domonkos M, **Kocsis T**, Juhos K, Szalai Z, Végvári Gy (2015) Két mikrobiális oltóanyag hatása tehéntrágya alapú komposztok és a talajok várható minőségi tulajdonságaira *Talajvédelem* különszám pp. 9-18.

**Teljes terjedelmű konferencia közlemény:**

**Kocsis T**, Wass-Matics H, Kotroczó Zs, Biró B (2015): A bioszén kedvező hatása a talaj pszikrofil- és mezofil csíraszámára. In: Futó Zoltán (szerk.) *A hulladékgazdálkodás legújabb fejlesztési lehetőségei*. 126 p. (ISBN:978-963-269-464-1)