



SZENT ISTVÁN EGYETEM

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

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

KOCSIS TAMÁS

Témavezető: Dr. Biró Borbála D.Sc.,
egyetemi tanár

Szent István Egyetem
Kertészettudományi Kar
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

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

A Szent István Egyetem, Egyetemi Doktori és Habilitációs Tanácsa 2018. június 4-i határozatában nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG

Elnöke:

Bozó László, MHAS, Szent István Egyetem

Tagjai:

Kiskó Gabriella, Ph.D, Szent István Egyetem

Jakab Gergely, Ph.D, MTA, Földrajztudományi Kutatóintézet

Beczner Judit, C.Sc, Szent István Egyetem

Fekete István, Ph.D, Nyíregyházi Egyetem

Opponensek:

Lehoczkiné Tornai Judit, C.Sc, Szent István Egyetem

Czakóné Vér Klára, C.Sc, Pécsi Tudományegyetem

Titkár:

Taczmanné Brückner Andrea, Ph.D, Szent István Egyetem

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| 1. BEVEZETÉS..... | 1 |
| 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS..... | 4 |
| 2.1. A talajok fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságai | 4 |
| 2.1.1. A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai | 4 |
| 2.1.2. A talajok biológiai tulajdonságai | 5 |
| 2.2. A terménynövelő anyagok fogalma és csoportosítása | 6 |
| 2.2.1. A terménynövelő anyagok jogszabályi csoportosítása | 6 |
| 2.2.2. A terménynövelő anyagok engedélyezése, tárolása, forgalmazása és felhasználása | 7 |
| 2.3. Az ökológiai gazdálkodásban felhasználható terménynövelő anyagok..... | 8 |
| 2.3.1. Talajkondicionáló készítmények..... | 9 |
| 2.3.2. Növénykondicionáló készítmények | 10 |
| 2.4. A mikrobiológiai készítmények jelentősége a növénytermesztésben | 13 |
| 2.4.1. A mikrobiológiai készítmények összetétele és hatásmechanizmusa | 14 |
| 2.4.2. A mikrobiológiai készítmények hatása a termés hozamra | 15 |
| 2.5. A talajok szénmegtartó képessége | 17 |
| 2.5.1. A szén biogeokémiai ciklusa..... | 17 |
| 2.5.2. A talajbióta szerepe a szén-körforgalomban (humifikáció, mineralizáció) | 18 |
| 2.6. A bioszén eredete és szerepe a talajban..... | 20 |
| 2.6.1. A bioszén felhasználási lehetőségei | 20 |
| 2.6.2. A bioszén ipari előállítása | 21 |
| 2.6.3. A bioszén hatása a talajok fizikai-kémiai tulajdonságaira | 25 |
| 2.6.4. A bioszén hatása a talajok mikrobiológiai tulajdonságaira..... | 27 |
| 2.6.5. A bioszén hatása a talaj a termőképességére..... | 31 |
| 3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK..... | 33 |
| 3.1. A kísérletek megtervezése | 33 |
| 3.1.1. A kutatási helyszínek bemutatása | 33 |
| 3.1.2. A kísérletek beállítása | 34 |
| 3.1.3. A mintavételek módszertana | 35 |
| 3.2. A fizikai-kémiai vizsgálatok módszerei | 36 |
| 3.2.1. A talaj fizikai és kémiai vizsgálata..... | 36 |
| 3.2.2. A bioszén fizikai-kémiai vizsgálata | 37 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.3. Növények tápelemfelvételének vizsgálata | 38 |
| 3.3. A biológiai vizsgálatok módszerei | 40 |
| 3.3.1 A talaj biológiai vizsgálata | 40 |
| 3.3.2. A növényi biomassza vizsgálata | 42 |
| 3.3.3. Mikroorganizmusok környezeti érzékenysége..... | 43 |
| 3.3.4. A felhasznált táptalajok és szaporító közegek | 44 |
| 3.4. Az adatok feldolgozása..... | 45 |
| 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK..... | 46 |
| 4.1. A bioszén környezeti kockázatának vizsgálati eredményei..... | 46 |
| 4.1.1. A bioszén PAH tartalmának értékelése | 46 |
| 4.1.2. A talaj tipikus mikrobacsoportjai közötti környezeti érzékenység értékelése | 49 |
| 4.2. A bioszén hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira..... | 54 |
| 4.3. A bioszén növekvő dózisainak hatása a növényi tápelem-felvétel alakulására..... | 57 |
| 4.3.1. Azonosságok a két növény között különböző bioszén-adagok hatására..... | 62 |
| 4.3.2. Elterések a két növény között bioszén dózisok hatására..... | 62 |
| 4.4. A bioszén dózisfüggő hatása a talaj biológiai tulajdonságaira | 63 |
| 4.4.1. A növekvő bioszén adagok hatása tenyészedény kísérletekben | 63 |
| 4.4.2. A növekvő bioszén adagok hatása szabadföldi kísérletekben..... | 68 |
| 4.4.3. A különböző bioeffektor készítmények hatásának eredményei | 74 |
| 4.5. Bioszén és bioeffektor kezeléskombinációk hatása a növények növekedésére..... | 79 |
| 4.5.1. A kombinált oltás hatása tenyészedény kísérletekben | 79 |
| 4.5.2. A kombinált oltás hatása szabadföldi kísérletekben | 81 |
| 4.6. Új tudományos eredmények | 88 |
| 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK..... | 90 |
| 6. ÖSSZEFOGLALÁS | 92 |
| 7. SUMMARY | 95 |
| 8. IRODALOMJEGYZÉK | 98 |
| 8.1 Egyéb irodalom..... | 109 |
| 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 110 |

*"...a talajon nem csak állsz, hanem élsz is!"
(Stefanovits Pál)*

1. BEVEZETÉS

A talaj a földkéreg felső szilárd burkán kialakult többfázisú polidiszperz rendszer, a növénytermesztés meghatározó közege. Egyik fontos funkciója a termékenysége, vagyis az a képessége, hogy a növényeket kellő időben és szükséges mennyiségben képes ellátni vízzel és tápanyagokkal (STEFANOVITS et al., 1999). A talaj alapvető közege a biológiai produkciónak, amely saját fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságain keresztül, változó mértékben felel az élelmiszer előállítás minőségi és mennyiségi követelményeiért (BIRÓ et al., 2010). Magyarország területének 79%-a (~7,4 millió hektár) termőterület, melyből ~5,3 millió hektár van jelenleg mezőgazdasági művelés alatt (KSH, 2017), ezáltal hazánk természeti erőforrásainak jelentős részét teszi ki. Ily módon a talajok és termékenységük megőrzése fontos gazdasági kérdéssé válik. A termőföldről szóló 1994. évi LV. törvény hatodik fejezete előírja, hogy a földhasználónak gondoskodnia kell a talaj humuszos termőrétegének megőrzéséről, szervesanyag-tartalmának fenntartásáról, valamint a talaj tápanyag szolgáltató és a termesztett növények tápanyagigényét figyelembe vevő, vizsgálatra alapozott, környezetkímélő tápanyag gazdálkodás folytatásáról. Ilyen célú talajvizsgálatokra az utóbbi két évtizedben sok szabványosított módszer született, ugyanakkor ezek a vizsgálatok elsősorban a talajok fizikai és kémiai tulajdonságaira fókuszálnak. A talajvédelmi tervek készítéséhez szükséges megalapozó vizsgálatok, a termőföld biológiai állapotát reprezentáló eljárásokat nem tartalmazzák. Ez talán nem is olyan meglepő, annak tudatában, hogy a talaj biológiai állapotának jellemzése, mint élő rendszer vizsgálata sokkal bonyolultabb a már ismert és széles körben alkalmazott fizika-kémiai eljárásokkal összehasonlítva (JAKUCS, 2003). Ebből következik, hogy ilyen irányú, szabványosított módszerek kidolgozása a mind mai napig folyamatban van.

Magyarországon jelenleg több mint 100-féle biológiai termélnövelő anyag van kereskedelmi forgalomban. Ezek felhasználásával célul tűzik ki, a leromlott talajtermékenység, a makro- és mikroelemek felvehetőségének, valamint szerves anyagok dekompozíciós képességének a helyreállítását. Csoportosításuk történhet, összetétel, hatásmechanizmus valamint felhasználási módszer szerint is (BIRÓ et al., 2003). Sajnálatos, hogy a forgalmazók univerzális szemléletmódban az oltóanyag törzsek szelekciója során figyelmen kívül hagyják az egyedi talajtulajdonságok és az eltérő környezeti körülmények mikroba törzsekre gyakorolt hatását. A hatékonyság esetleges romlását az alkalmazás során, több törzs hozzáadásával (polivalens összetételben) próbálják kompenzálni. További veszély, hogy a klímaváltozás és egyes antropogén hatások következtében a talaj megváltozhat (például savanyodás, szikesedés,

vegyszermaradványok és nehézfémek felhalmozódása stb. miatt), melyek meghatározó változásokat eredményezhetnek a talaj mikrobióta közösségeiben is (KÖDÖBÖCZ et al., 2005). A felsorolt kockázatok mérséklésére a világszerte folyó kutatások egyik ígéretes eszköze lehet a bioszén. **Bioszénnek nevezünk** minden olyan szerves eredetű pirolizált biomassza anyagot, amelyek közös ismertetőjegye a nagy széntartalom és fajlagos felület, valamint jellegzetes finomszemcsés, porózus szerkezet. Ennek megfelelően 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 az úgynevezett „talajkímélő” eljárásokkal és az organikus terméskövelők felhasználásával. Ennek eredményeként csökkenthetővé válnak a konvencionális gazdálkodásban, széles körben alkalmazott, de napjainkra már számos esetben kerülendő műtrágyák és növényvédő szerek felhasználása. Ebbe a csoportba tartoznak még azok az abiotikus, bioeffektív módszerek is, amelyek természetes ásványi terméskövelők felhasználásával, a talajok fizikai- és kémiai tulajdonságainak változásával javítani képesek a talaj-növény-mikroba rendszer működőképességét.

Az általános és jellegzetes talajvizsgálatok során viszonylag kevés figyelem fordítódik a biológiai tulajdonságokra. Doktori kutatási témámban ezért elsősorban a talajbiológiai változókat vizsgáltam különböző módon előállított aktív szén (bioszén) termékek alkalmazása mellett.

Vizsgálataim során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

- Megvizsgálni, hogy a bioszénnek van-e dózisfüggő alkalmazási limitje, különösen egy alacsony (szén) humusz-tartalmú arenosol talaj fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságaira?
- Megvizsgálni, hogy a környezeti biotikus és abiotikus tényezők hogyan befolyásolják a talajok és a növény–mikroba kapcsolat alakulását, működőképességét különböző bioszénrel kezelt talajokban?
- 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?
- 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.

- Tanulmányozni a bioszén és a növény-növekedést serkentő baktérium kombinációk hatásait és a szinergista kölcsönhatásokat környezeti stressz-körülmények (tápanyaghiány, szárazság) között.
- Információkat nyerni arra vonatkozóan, hogy a növény-növekedést serkentő izolátumok gyakorlati alkalmazását lehetséges-e a bioszén alkalmazással együtt optimalizálni?

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A talajok fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságai

2.1.1. A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai

A talajtakaró, más néven pedoszféra a Föld szilárd kérgének legkülső burkán kialakult „polidiszperz” rendszer. A talaj legfontosabb tulajdonsága a termőképessége, ezáltal a növénytermesztés alapjául szolgál. A fizikai tulajdonságai nagymértékben befolyásolják a talajban lejátszódó kémiai és biológiai folyamatokat (az adszorpciós jelenségeket, az oxidáció–redukció feltételeit, az anyagtranszport lehetőségeit, a biológiai aktivitást, a tápanyagforgalmat) s ezeken keresztül a talaj termékenységét (RIEDER et al., 2018). Ásványi részeinek jelentőségét mi sem bizonyítja jobban, mint az a tény, hogy a talaj alkotórészeinek átlagosan több mint 95%-át alkotják az ásványi anyagok. Termesztéstechnológiai szempontból a következő ásványcsoportoknak van jelentőségük: kloridok, szulfidok, szulfátok, nitrátok, foszfátok, borátok, karbonátok, oxidok és hidroxidok, valamint a szilikátok (STEFANOVITS et al., 1999).

A legfontosabb talajfizikai jellemzők KÁTAI (2011) munkája alapján:

- a talaj színe
- a talajszemcsék mérete
- a talaj textúrája (szemcseösszetétele)
- a talaj sűrűsége és térfogattömege
- a talajok porozitása
- a talaj szerkezete (a szerkezeti formák, a szerkezet minősége)
- a talaj vízgazdálkodása (vízáteresztő képessége, vízkapacitása, a holtvíz és a hasznosítható víz mennyisége)
- a pórustér nagysága, a pórusok méret szerinti eloszlása,
- a talaj levegőzöttsége és hőgazdálkodása.

A talajszerkezet kialakulását (aggregátumok elkülönülése, összetapadása, makroaggregátumok kialakulása) befolyásoló fizikai hatások közé tartozik a duzzadás-zsugorodás, az átfagyás és olvadás, a gyökérszét nyomásából és vízfelvételéből adódó változások, valamint a talajművelő eszközök hatásai. Ezzel szemben a talajok kémiai tulajdonságait elsősorban a vízben oldható sók mennyisége és minősége, a kolloidkémiai reakciók, a kémhatás és a redoxi feltételek határozzák meg. Mindezen folyamatok együttesen befolyásolják a talaj szerkezetét, talajvízzel szembeni viselkedését és a talajba került anyagok (tápanyagok, szennyező anyagok stb.) sorsát egyaránt (STEFANOVITS et al., 1999).

2.1.2. A talajok biológiai tulajdonságai

A **fenntartható fejlődés** napjaink egyik kihívása. Az intenzív művelési módszerek mellett ugyanakkor ez a feltétel nehezen teljesíthető (MADARÁSZ et al., 2018). A fenntarthatóság gondolatával párhuzamosan fejlődik a talajlakó szervezetek kutatása, amit önmagában is figyelembe kell venni, mivel a talaj polidiszperz rendszerében önálló fázisként kapnak helyet. Élőlények nélkül nem is beszélhetünk talajról, különösen nem termőtalajról. A talaj élőlényei rendkívül bonyolult faji összetételű életközösséget **edafonnak nevezünk** (FRANCE, 1913). Nem tartoznak az edafonhoz a magasabb rendű zöld növények föld feletti részei (1. táblázat). A kőzetek aprózódása és mállása után az edafon hatására a talaj ásványi összetétele megváltozik. A baktériumok és gombák az életfolyamataikhoz szükséges energiát és a testük felépítéséhez szükséges tápelemeket ugyanis a talaj ásványi részéből nyerik. Tevékenységükkel ezáltal megváltoztatják a talaj kémhatását, redoxi-viszonyait, és irányíthatják a mállás jellegét. Mikrobiológiai szempontból a talaj legaktívabb része a rizoszféra, azaz a növény gyökérszónája, amire HILTNER (1904) hívta fel a figyelmet. A gyökér környezetében az úgynevezett rizoszféra-effektus (R_f) hatására a mikrobák felszaporodnak és aktivitásuk is növekszik. A mikrobiótát alkotó mikrobák számát és biológiai aktivitását különböző módszerek segítségével vizsgálhatjuk. Ezek a módszerek három fő csoportra oszthatók.

- Vizsgálhatjuk kitenyésztéses telepszámlálásos illetve határhígításos módszerekkel a mikroba csoportok élősejtszámát.
- Szelektív táptalajok alkalmazásával az egyes fiziológiai mikroba csoportokról is információt kaphatunk.
- Genetikai eszközöket alkalmazva, szekvenálásos metagenomikai módszerekkel meghatározhatjuk a komplex mikrobiális közösségek pontos (genuszokra és fajokra vonatkozó) összetételét.

A talajok mikrobiális összetétele, aktivitása és annak jelentősége, megállapítható még olyan csoportosítás segítségével is, ahol a metabolikus aktivitást különböző enzimek mérésével történik (RAVENSBERG, 2015). Ezek jelentősége különösen felértékelődik, ha a mennyiségi vizsgálatok mellett úgynevezett minőségi állapotfelmérésre is szükség van.

1. táblázat. A talaj élő anyagának (az edafonnak) az összetétele és méret szerinti csoportosításuk
(STEFANOVITS et al., 1999)

| Prokarióták | Gombák | Vírusok (0,1 µm) | Növények | | Állatok | | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| | | | mikro | magasabb rendű (100 µm) | mikro (100 µm) | mezo (2 mm) | makro (20 mm) |
| baktériumok (5 µm) | mikro- gombák (50 µm) | | algák (10 µm) | magvak | egysejtűek | ugróvillások | rovarok |
| sugárgombák (10 µm) | nagygombák (20 mm) | | | rizómák | fonálférgesek | termeszek | puhatestűek |
| ciano- baktériumok (archeák) | | | | gumók | | atkák | földi- giliszták |
| | | | | hagymák gyökerek | | | |

2.2. A termésművelő anyagok fogalma és csoportosítása

A termésművelő anyagok felhasználására (engedélyezés, tárolás, forgalmazás) az Európai Unióban nincs minden tagországra általánosan érvényes jogszabály, így ennek kialakítása jelenleg tagállami hatáskörben van. Magyarországon több jogszabállyal összetett követelményrendszert állítottak fel annak érdekében, hogy szakszerű és környezetkímélő keretek között kerüljenek e termékek felhasználásra.

2.2.1. A termésművelő anyagok jogszabályi csoportosítása

Az élelmiszerláncról és hatóság felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvény (továbbiakban Éltv.) meghatározása szerint:

- **termésművelő anyag:** a növények tápanyagellátását szolgáló, vagy a talajok tápanyag-szolgáltató képességét, termőképességét befolyásoló (kivéve a víz, a szén-dioxid és az adalékanyag nélküli, kezeletlen istállótrágya), természetes eredetű, vagy fizikai, kémiai, biológiai, illetve egyéb mesterséges úton előállított anyagok, valamint ezek kereskedelmi céllal összeállított kombinációja.
- **engedélyköteles termék:** a növényvédő szer, növényvédőszer-hatóanyag, - adalékanyag, segédanyag, a növényvédelmi hatású termék, a növényvédelmi célú eszköz és anyag (a műszerek kivételével), valamint a termésművelő anyag (kivéve a 2003/2003/EK rendelet szerinti EK-műtrágya), engedélyköteles, továbbá az alkalmazás célja szerint ezekre visszavezethető egyéb termék, amelynek forgalomba hozatala és felhasználása engedélyhez kötött.

2.2.2. A termésmnövelő anyagok engedélyezése, tárolása, forgalmazása és felhasználása

Az Élelmiszerláncról és hatósági felügyeletére kiadott, a termésmnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet meghatározása szerint a termésmnövelő anyagok típusainak meghatározása az alábbi:

- **mútrágya:** a növények tápanyagellátását szolgáló, iparilag, kémiai úton előállított termésmnövelő anyag.
- **engedélyköteles szerves trágya:** a növények tápanyagellátását, illetve a talaj szerkezetének javítását szolgáló, növényi, vagy állati eredetű szerves anyagból iparilag feldolgozott, meghatározott beltartalmú termésmnövelő anyag.
- **ásványi trágya:** a növények tápanyagellátását, illetve a talaj szerkezetének javítását szolgáló, ásványi eredetű, iparilag előállított termésmnövelő anyag.
- **komposzt:** a növények tápanyagellátásának, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességének javítására szolgáló, szerves, szervesetlen és ásványi eredetű anyagokból külön jogszabály előírásainak megfelelő komposztálás útján előállított termésmnövelő anyag.
- **gilisztahumus:** a növények tápanyagellátását javító, illetve a talaj termőképességének növelését befolyásoló, rostált gilisztaürülék.
- **talajjavító anyag:** a talaj kedvezőtlen tulajdonságainak megváltoztatására, illetve a kedvező tulajdonságok fenntartására szolgáló, iparilag előállított termésmnövelő anyag.
- **talajkondicionáló készítmény:** a talaj fizikai, kémiai, illetve biológiai tulajdonságaira kedvezően ható, iparilag előállított termésmnövelő anyag.
- **mikrobiológiai készítmény:** a talaj termékenységét javító mikroszervezeteket (baktériumokat, gombákat, algákat) tartalmazó termésmnövelő anyag, amely mentes az emberre fertőzőképes és a talaj természetes mikroflóráját kedvezőtlenül befolyásoló szervezetektől.
- **termesztő közeg:** olyan földek, földkeverékek és egyéb közegek szilárd, vagy folyékony halmazállapotban, amelyek a növények számára gyökerezési közegként és élettérként szolgálnak
- **növénykondicionáló készítmény:** a növények fejlődésére, terméshozamára és általános állapotára kedvezően ható, szerves vagy, szervesetlen anyagokból előállított készítmény, amely a növényi életfolyamatokra elsődlegesen a tápanyagforgalom befolyásolásán keresztül hat. Az engedélyeztetésről a 3. § ír részletesen. Az (1) bekezdés szerint „A termésmnövelő anyagok csak akkor hozhatók forgalomba, illetve használhatók fel”, ha „vizsgálatokkal, kísérletekkel alátámasztott kedvező hatást fejtenek ki a talajra vagy a termesztett növényre, előírászerű és

szakszerű alkalmazás során nem okoznak kedvezőtlen mellékhatást a növényre, a talajra, az ember és az állat egészségére, és nem jelentenek megengedhetetlen veszélyt a környezetre és a természetre”. A rendelet 4/B. §-a lehetőséget ad eseti engedélyezésre, melyet az (1) bekezdés taglal. Bizonyos esetekben *„Magyarországon már engedélyezett termésmnövelő anyag felhasználását az engedélyben előírt felhasználástól eltérő területen vagy módon*”, ha például *„az alkalmazását közérdek (így például aszálykár, fagyveszély) indokolja*” és *„olyan ismeretek állnak rendelkezésre, amelyek biztosítják, hogy a termésmnövelő anyag a kérelmezett alkalmazási területen hatásos*”.

A termésmnövelő anyagok felhasználását a rendelet 16 §-a taglalja. Az (1) bekezdésben olvasható, hogy a *„Termésmnövelő anyag kizárólag az engedélyben foglalt feltételek szerint használható fel.*” Ivóvízbázis szempontjából a (2) fejezet kiemeli, hogy *„Termésmnövelő anyag ivóvízbázis védőterületén való felhasználásakor a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről szóló külön jogszabályban előírt korlátozásokat is figyelembe kell venni.*” Fontos kitérni az (5) bekezdésben foglaltakra, mely a felhasználás mértékét tünteti fel. Leírja, hogy *„A termésmnövelő anyagokat csak olyan módon és mennyiségben lehet felhasználni, hogy a talajok kockázatos anyagtartalma ne haladja meg tartós használat esetén sem a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és szennyezések méréséről szóló külön jogszabályban meghatározott „B” szennyezettségi határértéket, valamint a felszín alatti vizek állapota a termésmnövelő anyagok felhasználása következtében ne romoljon.*” A 17. § lehetőséget ad a termésmnövelő anyagok kísérleti felhasználására is. Az (1) bekezdés kimondja, hogy *„A termésmnövelő anyagok akkor használhatók fel kísérleti célra, ha nincsenek káros hatással a növénykultúrára, a talajra, az ember és az állat egészségére, valamint nem veszélyeztetik a környezetet és a természetet.*”

2.3. Az ökológiai gazdálkodásban felhasználható termésmnövelő anyagok

Biotikus tényezőnek nevezünk minden úgynevezett élő környezeti hatást. Ezen kölcsönhatások a növényi- és állati populációk és egyedek között mennek végbe, valamint ide tartoznak a növények és állatok közötti kölcsönhatások is, melyek különböző módokon nyilvánulhatnak meg (szimbiózis, kommenzalizmus, antibiózis) (JAKUCS és VAJNA, 2009). Ez alapján a biotikus termésmnövelő anyagok közé tartoznak többek közt a szerves eredetű, talaj- és növénykondicionáló szerek, valamint a mikrobiológiai készítmények is.

2.3.1. Talajkondicionáló készítmények

A talajkondicionáló készítmények a termésnövelő anyagok közé tartoznak, és azon belül is az engedélyköteles termésnövelő anyagok csoportjában helyezkednek el (FILEP, 2015). A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet meghatározása szerint a talajkondicionáló készítmény „*a talaj fizikai, kémiai, illetve biológiai tulajdonságaira kedvezően ható, iparilag előállított termésnövelő anyag.*” Hatásmechanizmusukat tekintve a talajkondicionáló szerek számos pozitív hatást fejtenek ki a talajok tulajdonságaira. Jó talajtakarók, segítik a talaj vízmegtartó képességének javítását, lazítják a talajt, jó víz- és levegőháztartást eredményeznek, javítják a porozitást, valamint növelik a víz- és tápanyagmegkötő szolgáltató képességet (KOC SIS és BIRÓ, 2015a).

2.3.2. Növénykondicionáló készítmények

A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet ezen készítményeket is részletesen definiálja, mely szerint; *„a növények fejlődésére, terméshozamára és általános állapotára kedvezően ható szerves, vagy szervesen anyagokból előállított készítmény, amely a növényi életfolyamatokra elsődlegesen a tápanyag-forgalom befolyásolásán keresztül hat”*. Hatásmechanizmusuk a növénykondicionáló készítmény típusától függ. Az aminosavak, poliaminok és hidrolizált fehérjék többek közt serkentik a nitrogén anyagcsere-folyamatokat a sejtekben, stimulálják az enzimek tevékenységét, elősegítik a sejtosztódást és fokozzák az abiotikus (például fagy, hő és só) stressztűrést. A humuszanyagok (huminsavak, humátok illetve fulvósavak) elsősorban serkentő hatásúak az anyagcserét, illetve a gyökérműködést tekintve, valamint a stressztűrést is javítják (LIBISH et al. 2012). A különböző algakivonatok (mikro- és makro elemek, poliszacharidok, hormonok, illetve szerves nitrogénvegyületek) növelik a talaj tápanyagmegkötő- és vízmegtartó képességét, valamint segítik a csírázást és a tápanyagfelvételt. Ezekon kívül még ide tartoznak az úgynevezett növényi kivonatok is, melyek elsősorban a csírázást, a virágzást és a termésműködést befolyásolják (CSISZÁR, 2009).

Az abiotikus tényezők ökológiai szempontból a környezet élettelen részei, melyek azonban az élethez nélkülözhetetlen fizikai és kémiai tényezőket jelentik. Egyszerre biztosítják az életben maradás feltételeit és már a legcsekélyebb (állandósuló vagy időszakos) változásukkal is alkalmazkodásra készítik a populációkat az így kialakult életfeltételekhez (BIHARI et al., 2011). Ezen tulajdonságok alapján ebbe a kategóriába tartoznak a szerves trágyák, különböző nyomelemek és ásványi anyagok, valamint a bioszén is, mint egy abiotikus termésművelő anyag.

2.3.2.1. A szerves trágyák csoportosítása

Magyarországon a múlt század első feléig nagyrészt ezzel pótolták a talajok tápanyagvesztését. A különböző szerves trágyák, mint például a komposzt, a zöldtrágyák, az istállótrágyák és a hígtrágyák talajtermékenységére kifejtett hasznosságát tudományos kísérletekkel is igazolták (BIRÓ et al., 2015). Tapasztalatok alapján a szerves trágyák nem csak tápanyagot szolgáltatnak, de befolyásolják a talajszerkezetet is, azaz közvetett (direkt) és közvetlen (indirekt) hatásokon keresztül komplexen fejtik ki hatásaikat a talajban (BALÁZSI, 2011). A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet meghatározása szerint az engedélyköteles szerves trágya *„a növények tápanyagellátását, illetve a talaj szerkezetének javítását szolgáló, növényi vagy állati eredetű szerves anyagból iparilag feldolgozott, meghatározott beltartalmú*

termésnövelő anyag.” A szerves trágyák csoportosítása az alábbi módon történik. Megkülönböztetünk istállótrágyát (más néven almos trágyát), trágyalét, hígtrágyát (lehet alom nélküli, illetve kevés almot tartalmazó hígtrágya) és egyéb szerves trágyákat. Az egyéb trágyák közé tartozik többek közt a komposzt és a zöldtrágya (LOCH és NOSTICZIUS, 2004).

2.3.2.2. Komposztálás

A szerves háztartási hulladék és egyéb szerves anyag, mint például a trágya, komposztálásra is felhasználhatók, mely során a szerves anyag humusszá alakul fedett, aerob környezetben. Az anyag térfogata az eljárás során csökken és a kialakuló tápanyagban gazdag komposzt, szerkezetét tekintve stabilabb, mint a felhasznált alapanyag (BARRAL et al., 2009). A komposzt tulajdonságai igen eltérőek lehetnek a nyersanyagtól és komposztálási folyamattól függően. A komposztálási folyamat során a szerves anyagot aerob mikroorganizmusok sora bontja le és alakítja át egyre összetettebb szerves anyagokká (SEBŐK, 2016). Az érett komposzt stabil és kellemes szagú, de ha a folyamat idő előtt megszakításra kerül, akkor az éretlen állapotot eredményez, melynek a talajra és növényekre nézve akár negatív hatásai is lehetnek. Alapanyaga számos dolog lehet, mint például fa és fű nemű zöldtrágya, takarmánymaradványok, szennyvíziszap, fa melléktermékek, állati trágya, biológiailag lebontható csomagolóanyagok és ételmaradékok. A felsorolt nyersanyagok kémiai összetételükben és részecske méretükben lényegesen eltérnek egymástól, ezáltal bomlásuk mértékében is különbséget mutatnak. A növényi maradványokkal szemben a komposzt számos előnnyel rendelkezik a talajba juttatva: például csökkentett térfogattal rendelkezik, és lassabb mineralizáció is jellemzi. Két fő hatása: pótolja a talaj szerves anyagát és ellátja növényi tápanyagokkal (BERNAL et al., 2009; KARDOS et al., 2011).

2.3.2.3. Zöldtrágyázás

A zöldtrágyázás fogalmát a szántás gyakorlataként, vagy a talajtermékenységet és talaj fizikai felépítését javító bomlott zöld növényi részek/szövetek beforgatásaként lehet meghatározni. Bármely növény alkalmas zöldtrágyának. Ez az eljárás nem elsősorban tápanyagtartalom növelésre szolgál (kivéve a pillangósvirágúak - *Fabaceae*), de a termésnövelő hatása egyértelmű (RAKSZEGI et al., 2016). A zöldtrágyázás, amennyiben megvalósítható, a szerves anyag talajba juttatásának fő kiegészítő módja. A zöldtrágyanövény szerves anyagokkal, valamint további nitrogénnel szolgál a talaj számára, különösen a nitrogén megkötő hüvelyes növények esetében (JOHNSON et al., 1987). Alkalmazásának számos előnye van, mivel gyorsan lebomlik, így könnyen felvehető tápanyagot szolgáltat a növényeknek. Javítja mind a fizikai és kémiai

talajtulajdonságokat, energiát szolgáltat a mikrobák számára, valamint tápanyagokkal látja el az aktuális, valamint a következő növénykultúrát egyaránt. Mulcsként használva megakadályozza a talajeróziót. Lazább szerkezetű talajba forgatva a tápanyagok kimosódása megelőzhetővé válik. A gyomok ellen védelmet nyújtanak és a következő növény vízmérlegét is javítják a zöldtrágyanövények a mélyre lenyúló gyökereikkel (CHANDRA, 2005).

2.3.2.4. Istállótrágyák

Az almos trágya részben állati vizelet, alom és szalma. Az istállótrágyában jelenlévő szerves anyagok több mint 50 százaléka lignin és fehérje alapú komplex anyagok formájában található meg, melyek a további bomlással szemben ellenállóak, ezért az istállótrágyában jelenlévő tápanyagok nagyon lassan szabadulnak fel. A vizeletből származó tápanyagok azonban könnyen elérhetők a növény számára. Az istállótrágya mintegy 50 százalékban nitrogént, 15 százalékban hamuzsirt és szinte az összes, állatok által kiválasztott foszfort tartalmazza. Az almos trágya megközelítőleg 5-6 kg nitrogént, 1,2-2 kg foszfort és 5-6 kg káliumot tartalmaz tonnánként (PROST et al., 2013). Az állati trágya szerves anyag tartalma és összetétele nagymértékben függ az állatfajtól, a takarmányozási gyakorlattól és az állattenyésztési rendszertől (tartásmódtól és trágyakezeléstől) (CHANDRA, 2005). Az első kettő tényező befolyásolja az állati ürületekből és vizeletből származó szerves anyagok mennyiségét, mivel jelentős különbségek adódnak a kérődzők és nem kérődző állatok étrendjében (SOMMER et al., 2013).

A hígtrágya 12 százalék alatti szárazanyag tartalmú folyékony halmazállapotú trágya, amely az állatállomány ürületeiből és vizeletéből származik, rendszerint némi alommal és vízzel keverve. Ezt a trágyaféleséget rácspadozatos padlók alól gyűjtik össze. A szén, hidrogén, oxigén, nitrogén és kén, mind fő alkotórészei a trágya szárazanyag-frakciójában lévő szerves anyagnak (ALENKINA et al., 2014). A hígtrágya egy olyan anaerob közeg, amelyben a szén-transzformációs folyamatok viszonylag lassan mennek végbe. Az oxigén hiánya miatt főleg metán termelődik a szerves anyag mikrobiális lebontása során. Az állattenyésztésben a növényi fehérje 5 és 45% közötti nitrogéntartalma állati eredetű fehérjévé alakul át, állatfajtól és tartástól függően. A fennmaradó 55-95% nitrogén szervesen kötött nitrogénként választódik ki. A trágyában számos mikroba van jelen, melyek elsősorban az állatok emésztőrendszeréből származnak, de néhányuk környezeti-eredetű (pl.: az alományban élő) is lehet. Tartott állat fajától, tartástól, trágya tárolásától és annak időtartamától függően a baktériumok, vírusok és élősködők fajban és számban eltérhetnek. A baktériumok között főleg *Streptococcus* baktériumok, esetenként *Salmonella* fajok is előfordulhatnak (SOMMER et al., 2013).

2.4. A mikrobiológiai készítmények jelentősége a növénytermesztésben

A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet meghatározása szerint a mikrobiológiai készítmény „*A talaj termékenységét javító mikroszervezeteket (baktériumokat, gombákat, algákat) tartalmazó termésnövelő anyag, amely mentes az emberre fertőzőképes és a talaj természetes mikrobiótáját kedvezőtlenül befolyásoló szervezetektől.*”

Mikrobiológiai készítményeket a mezőgazdasági termelés során elsősorban a takarmányozásnál, a takarmányok érlelésére, tartósítására és az emberi élelmiszerek-előállításában alkalmaznak (BIRÓ, 2012).

A mikroorganizmusok többsége a talajban található, de a bioszféra más részeiben is fellelhetők. Előfordulásuk legfőbb befolyásoló tényezője, hogy az optimális környezeti feltételek adottak legyenek a szaporodáshoz és életszükségleteik fenntartásához. A talaj legfelső, átlagosan 5-20 centiméteres ásott rétegében található legnagyobb mennyiségben az aerob mikroorganizmusok (SZABÓ, 2008). A talajban élő szervezetek jelentősen befolyásolják az ott lejátszódó folyamatokat, ezáltal kihatnak a talajtermékenységre is, továbbá részt vesznek a szerves anyagok bontásában, illetve aktív részét képezik többek között a szén körforgalomnak is (FÜLEKY, 2004). A mikroorganizmusok a talaj-aggregátumok környezetében csoportosulnak, illetve szaporodnak és végeznek élettevékenységet. Nagymértékben jelen vannak a rizoplánon és a rizoszférában, mely a növény gyökere által fizikailag és kémiai befolyásolt talajrégió (HILTNER, 1904). A rizoszférához hasonlóan megkülönböztethetünk hifoszférát is, amelyben a gyökérzethez hasonló hatást gombamicéliumok fejtenek ki (SZABÓ, 2008).

A természetben előforduló különböző jótékony hatású mikroorganizmusok (baktériumok és gombák), alkalmasak arra, hogy mikrobiális technológiák segítségével megvédjék a növényeket a kártevőktől és a betegségektől, valamint fokozzák a növény produktivitását és termékenységét. Ezek a mikrobák, mint a kereskedelemben is hozzáférhető termékek, lehetővé teszik a gazdák számára, hogy fenntartható módon növelhessék a talajok termékenységét és egyéb funkcióit (BIRÓ, 2003; LUGTENBERG, 2015). Az ilyen típusú technológiák alkalmazásakor figyelmet kell fordítani arra is, hogy egy olyan több szempontból is nyitott, összetett és élő rendszer vizsgálata során, mint amilyen a talaj, figyelembe kell venni azokat a természeti törvényszerűségeket, amelyek szerint minden tápelemnek optimális mértékben kell a növények és a mikroorganizmusok számára rendelkezésre állniuk ahhoz, hogy a talaj táplálékháló optimálisan tudjon fejlődni. LIEBIG (1840) minimumtörvénye szerint, hiába jut hozzá a növény az összes tápelemhez, ha valamiből hiányt szenved, akkor elpusztul. Ezen a gondolon tovább lépve az ökológiai faktorok hatástörvénye (THIENEMANN, 1950) szerint egy életközösség

összetételét a legkedvezőtlenebb környezeti tényező fogja meghatározni. Szakirodalmi adatok alapján a talajban az egyes tápelemek felhalmozódása a növények számára antagonista hatással is bírhatnak más elemek felvételére, ami végül hiánytünetet illetve exitálást eredményezhet.

2.4.1. A mikrobiológiai készítmények összetétele és hatásmechanizmusa

A kereskedelmi termékekben összeállított mikroorganizmusok felhasználási lehetőségei igen sokrétűek. Nem csak a talajhoz adva fejthetik ki hasznos tevékenységüket. A terméskövelés mellett egyre inkább előtérbe kerül biokontroll tulajdonságuk, amelynek segítségével biológiai úton képesek a peszticidek, növényvédő-szerek kiváltására. További felhasználásuk a biostimuláns hatáson alapul. A biostimulánsok a növények abiotikus stresszre adott válaszait befolyásolják kedvezően. Az EBIC (European Biostimulant Industry Council) a következő módon definiálja ezeket a termékeket.

Növényi biostimulánsoknak nevezzük azokat a készítményeket, melyek olyan anyagokat és/vagy mikroorganizmusokat tartalmaznak, melyek a rizoszférában alkalmazva stimulálják a természetes folyamatokat, fokozzák a tápanyagfelvételt és az abiotikus stressz elleni toleranciát, valamint javítják a termés minőségét (RAVENSBERG, 2015).

A mikroorganizmusokból álló biostimulánsok legtöbbször több fajt tartalmaznak. Általánosan elvárt hatásuk a tápanyagok mobilizálása, azaz a növényi tápanyag-felvétel javítása, a növényi növekedési hormonok termelése, a termés hozamok növelése és az abiotikus környezeti stressz hatásokkal szembeni ellenállóságának a növelése, így például a szárazság- és a sótűrő-képesség fokozása. Többféle baktérium- és gomba-faj kerül felhasználásra a növényvédő hatású kereskedelmi termékekben. Ezek közül kiemelendők a *Bacillus*-, *Pseudomonas*-, *Rhizobium* és *Trichoderma* sp. genusz fajtái és az azokhoz tartozó törzsek. A baktérium-alapú termékektől általában elvárható, hogy növeljék a betegségekkel szembeni ellenállóságot, a rovar-szabályozási hatékonyságot, valamint a növény növekedésének a fokozását (RAVENSBERG, 2015). Számos rizobaktérium, így például egyes *Azospirillum*-, *Bacillus*-, *Bradyrhizobium*-, *Pseudomonas*-, *Rhizobium* és *Streptomyces* faj törzsei, de számos gombafaj törzsei is képesek arra, hogy közvetlenül támogassák a termés hozamot, javítsák az abiotikus stressz-tényezőkkel szembeni ellenállást és védjék a növényeket a potenciális kórokozókval szemben (KAMILOVA et al., 2015).

A talajok mikrobiális oltóanyagokkal történő kezelésének számos módja lehet. A talajoltási technika megválasztása függ az adott mikroba hatásmechanizmusától, az alkalmazás időpontjában lévő növekedési szakasztól és az alkalmazott készítmény típusától is. Szilárd (por alakú), illetve a folyadék állagú oltóanyagokat is rendszerint vagy a magra rétegezik, vagy közvetlenül a vetési barázdákba juttatják ki. Granulált készítményeket elsősorban akkor

használnak, ha késleltetett hatás céljából, a mikrobákat hosszabb ideig meg akarják védeni a környezeti tényezőkkel szemben, és ha azok lassú felszabadulására van igény a növényi növekedés során. A vízben diszpergálódó készítményeket és a folyékony oltóanyagokat a talajra juttatást megelőzően általában vízben oldják (keverik el) az egyenletes eloszlás érdekében. Ez a folyamat kézi, vagy gépi berendezéssel egyaránt történhet (KAMILOVA et al., 2015).

2.4.2. A mikrobiológiai készítmények hatása a termés hozamra

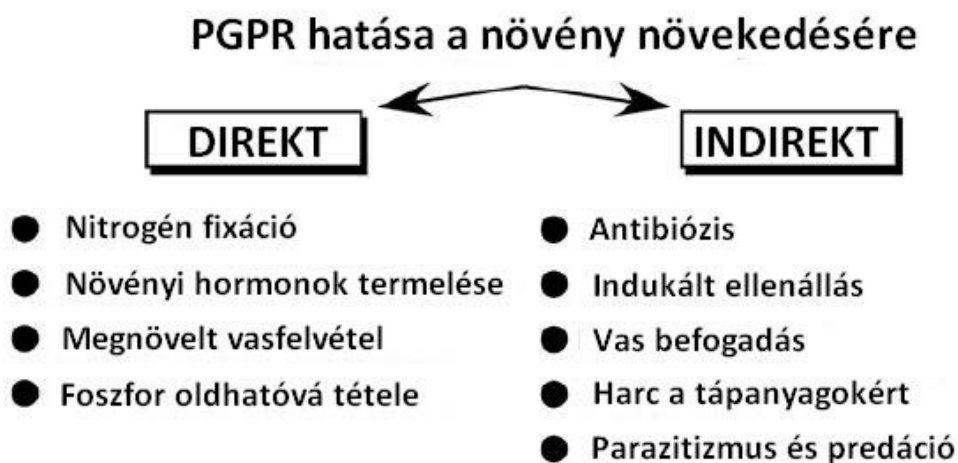
A mikroorganizmusok többsége képes szaporodni a rizoszférában, ahol jótékony hatásukat kifejthetik. Az ilyen folyamatot növényi növekedés-serkentésnek nevezik, erre az úgynevezett „Plant Growth Promoting Rhizobacteria”, „növény-növekedés-serkentő rizobaktériumok (PGPR) képesek. A folyamattal párhuzamosan egyfajta biokontroll hatás is megvalósul, ami a növényi kórokozók elnyomásával feje ki hasznos hatását (LEHMANN, 2011). A mikrobiális oltóanyagokat hatásuk megkülönböztetésére többféle elnevezéssel hozzák forgalomba. Lehetnek ezek például bioeffektorok, baktériumtrágyák, biostimulánsok vagy biokontroll ágensek (nem szakszerű névvel biopeszticidek). A hatások ugyanakkor nem különíthetők el egyértelműen egymástól, más esetben az alkalmazást követően is megváltozhatnak, vagy a növény által befolyásolt módon a vegetációs időszak során is különböző módon nyilvánulhatnak meg. A sokféle elnevezés miatt ezért jelenleg egy általános kifejezést javasol az EU által támogatott BIOFEKTOR projekt ([http1](http://)).

A bioeffektor olyan hatású terméket jelöl, amely magában foglalja mind a baktériumtrágya, mind a biológiai kontroll funkciókat, de ugyanúgy alkalmas lehet a talajszerkezet pozitív hatású megváltoztatására is. A leginkább kutatott bioeffektív baktériumok: az *Azospirillum*-, *Bacillus*-, *Rhizobioum*- és *Pseudomonas* sp. fajok. Ezek genomjait vizsgálva már évekkel ezelőtt megállapították biokontroll- és növényi növekedés-serkentő képességeket (1. ábra). A növény-baktérium kölcsönhatásról alkotott tudásunk azóta is folyamatosan nő. Jelenleg a mikroorganizmusok három különböző csoportja tűnik a legalkalmasabbnak bio-oltóanyagok fejlesztésére:

- 1) a Gram-negatív, fluorescens-putida fajokba sorolt *Pseudomonas* sp. törzsek - mint például a *P. fluorescens*, mely a rizoszféra egyik leghatékonyabb kolonizálója és nagymértékben képes fokozni a termés hozamot, ezen kívül antagonista hatást fejt ki a növénypatogén kórokozókval szemben.
- 2) a Gram-pozitív *Bacillus* sp. baktériumok (például a *Bacillus amyloliquefaciens*, *Lactobacillus plantarum* fajok) spórák baktériumok. Spóráképző tulajdonságuk miatt

túlélnek a környezeti stressz-hatásokat, de foszfor-mobilizáló képességükkel a növénytápláláshoz is hozzájárulnak.

- 3) a mikroszkopikus gombákhoz tartozó egyes *Trichoderma* sp. fajok, amelyek antagonistái lehetnek az úgynevezett talajeredetű patogéneknek és ezzel biokontroll hatást fejthetnek ki (BORRISS, 2011).



1. ábra. A növény-növekedés-serkentő mikroorganizmusok (PGPR) hatásai a növények növekedésére, TIMMUSK (2003) szerint.

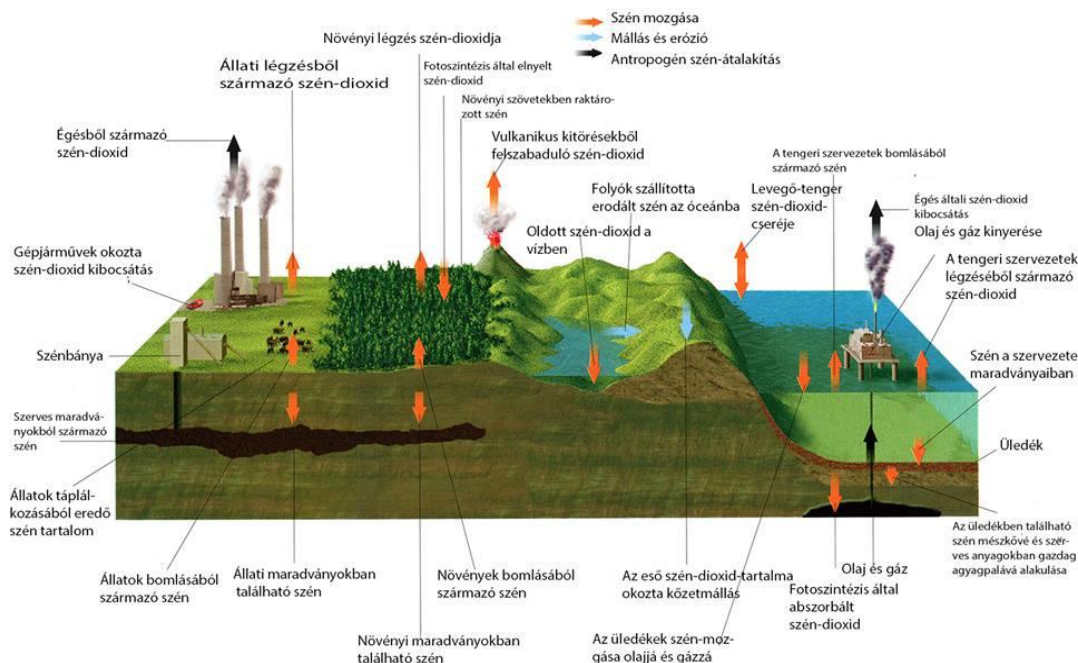
A növényi növekedést elősegítő, PGPR stimulálás hatásosságát az oldhatatlan tápanyagok és az azt követő növényi tápanyagfelvétel, a növényi növekedést szabályzó hormonok termelésének, valamint a káros talajbaktériumok illetve a fitopatogén gombák biomasszája egyaránt befolyásolják. Számos *Pseudomonas* faj mutat növény-növekedést elősegítő tevékenységet, melyeket a széles körű eloszlásuk, gazdanövények rhizoszférájában történő kolonizációjuk és a növényi patogénekkel szembeni antagonista hatásuk miatt vizsgálták (BHATTACHARYYA, 2012). A *Pseudomonas fluorescens* törzsekről szóló jelentések arról számolnak be, hogy a talajlakó kórokozók által okozott betegségeket szabályozzák, és arról is ismertek, hogy mind megtalálható a rizoszférában illetve a filloszférában (WELLER, 1988; WILSON et al., 1991). A növényi növekedést elősegítő rizobaktériumok közül az *Azospirillum*- és az *Azotobacter* genuszokkal folytattak vizsgálatokat. Ezeket a mikroszaporított növények (például jojoba, díszítő fűfélék) gyökereztetésénél alkalmazva bizonyították, hogy képesek helyettesíteni azokat a szintetikus növényi hormonokat, melyeket általánosan használnak az *in vitro* növénytenyészetekben (CARLETTI et al., 2006).

2.5. A talajok szénmegtartó képessége

A természetben előforduló vegyületek alapvető építőeleme a szén, a földi élet alapja. Ebből kiindulva a szerves-vegyületeket, a szén vegyületeinek is nevezik. Az autotróf és heterotróf élőlények egyaránt igényelnek szenet. Míg az autotróf szervezetek a levegőből szén-dioxid formájában, tehát szervetlen szénvegyületeket használnak fel, addig a heterotróf szervezetek nagyobb molekulatömegű, szerves szénvegyületeket igényelnek életfolyamataik biztosításához (CSIZMARIK, 2011).

2.5.1. A szén biogeokémiai ciklusa

A szénkörforgás (2. ábra) a három fő széntároló (a szárazföld, az óceán és a légkör) közötti kölcsönhatáson alapszik. A légkör a legkisebb forrása az aktívan keringő szénnek, mivel az atmoszférában való tartózkodási ideje (kevesebb, mint ezer év) rövidnek mondható. A légkörben a szén; szén-dioxid, metán, szén-monoxid és CFC-gázok formájában van jelen (üvegházhatású gázok), ezek kevesebb, mint egy százalékát teszik ki a levegőnek. A szárazföldi bioszféra a második legnagyobb széntároló (FEKETE et al., 2017).



2. ábra. A szén biogeokémiai ciklusa (MANN és KUMP, 2015)

Ebben az esetben a szén a talajban tárolódik, az ott élő mikroorganizmusok lebontása, valamint az egyes geológiai folyamatok mállásának eredményeként. Nem csak a szén mennyisége nagy a

szárazföldi bioszférában, hanem a befolyásoló antropogén hatások is. A szárazföld ezért a legaktívabb része a globális szénkörforgásnak, ezzel szemben messze a legnagyobb széntározó az óceán. A légköri szénmennyiség több mint hatvanszorosát raktározza oldott szervesetlen szén formájában, a fennmaradó rész számos szerves szénformát foglal magában (élő szerves anyag és részecskék, valamint oldott szerves szén). Az óceáni széntározón belül, a legnagyobb mennyiségű szén a tengermélyi üledékben található. A szén-dioxid megkötése a „Le Chatelier elv” alapján valósul meg, majd a víz mélyebb rétegeibe szállítódik. A szén mozgása a szárazföldi bioszférából az óceánok felé mind közvetett módon (szén ciklus) és közvetlenül, vízfolyásokon keresztül történik. A szén mozgásában a biológiai folyamatok ugyancsak jelentős szerepet töltenek be, valamint szoros kapcsolatban vannak a légzéssel és a fotoszintézissel is (SULZMAN, 2000). A fotoszintézis során a növények a napsugárzás energiájából cukrot állítanak elő. A keletkezett cukrot a szervezetek a lebontó metabolikus folyamatok (katabolizmus) során nyerik ki és használják fel életszükségleteikhez, valamint a biológiai reprodukcióhoz. A fotoszintézishez szükséges széndioxidot a növények a légkörből nyerik (ÖRDÖG és MOLNÁR, 2011). A tározók közti szénmozgások folyamatai nagyon különböző időskálán mozognak. A rövidtávú szénkörforgás folyamatainak leforgása – mint például a fotoszintézis, növényi- és állati légzés és a levegő-tenger közti szén-dioxid csere – csupán évek kérdése. Más folyamatok, mint a szén mészkővé való átalakulása, majd az azt követő kioldódása a kőzetek mállása, nagyon lassan, akár több ezer, vagy millió év alatt mennek végbe. A szénkörforgás elválaszthatatlanul kapcsolódik más kémiai ciklusok, beleértve a nitrogén, a foszfor és a kén, valamint a globális hidrológiai ciklus folyamataihoz (SULZMAN, 2000).

2.5.2. A talajbióta szerepe a szén-körforgalomban (humifikáció, mineralizáció)

A talaj a szén körforgalmában egyszerre tölti be a szénforrás és a szén-felhasználó szerepet, valamint egyaránt fontos szerepet játszik a különböző kémiai és biológiai reakciókban. A növények szénforrása a talaj és a légkör, ahonnan a szén CO_2 formájában veszik fel. A légkörbe az élőlények légzésével kerül szén, természetesen szintén gáz formájában. Ezekon felül szén megjelenési formája az elhalt növények szerves anyagának mikroorganizmusok által történő lebontása során is változik, melyet a talajban, illetve annak felszínén élő mikro- és makrofauna tagjai erősen befolyásolnak (STEFANOVITS et al., 1999).

A humifikáció egy olyan folyamat, melynek során a nehezen bomló anyagok polimerizálódnak (azaz a kisebb molekulájú vegyület azonos molekulái, melléktermék keletkezése nélkül óriásmolekulává egyesülnek), majd nitrogén tartalmú vegyületekkel kapcsolódnak és úgynevezett humuszanyagokat hoznak létre. Ezek nagy molekulájú, sötét színű, stabil szerkezetű anyagok. A folyamat biztosítja a növényi maradványok által talajba került szén megkötését. A

növényi maradványok lebontása többek közt függ a talaj és a növény minőségétől, a környezeti feltételektől, valamint a talajban élő lebontó szervezetektől. Ennek köszönhetően a szerves anyagok hosszú ideig megmaradhatnak a talajban (BREWER et al., 2011). A humuszosodást számos tényező befolyásolja. Ezek többek között a talajban található szerves anyagok minőségi és mennyiségi jellemzői, a bontásért felelős mikroszervezetek faji összetételei és a tevékenységük, a folyamatok során keletkező humuszanyagok kémiai tulajdonságai, valamint a szerves-ásványi kötések típusai. Ezeken túl a talajban lakó mezo- és makro-fauna a humuszanyagok keverését, aprózását is végzi (STEFANOVITS et al., 1999). A humusz nem rendelkezik meghatározott kémiai szerkezettel, hanem azt a nagyszámú kémiai elem és kötés különböző térbeli elhelyezkedése adja (BREWER et al., 2011).

A nehezen bomló anyagokkal szemben a könnyebben lebomló szerves anyagok mineralizálódnak. A mineralizáció szerves anyagok (pl. huminsav, fulvosav) teljes mikrobiális lebontására utal, ahol a szerves anyagokban megtalálható növényi tápanyagok (Mg, Fe, N, S, P) felszabadulnak. Különböző biológiai folyamatok (többek közt katabolizmus, erjedés, vagy biológiai oxidáció) által a talajba került növényi maradványok lebomlanak, és CO₂ formájában visszakerülnek a szénkörforgalomba. Az úgynevezett talajlégzést (vagyis a CO₂ talajból légkörbe történő áramlása) elsősorban mikrobiológiai folyamatok eredményezik, de a többi talajlakó szervezet is részt vesz benne (BLUME et al., 2016).

A szerves anyagok közül legnagyobb mennyiségben a cellulóz keletkezik, mely a szén mineralizációjának az alapját képezi. A tiszta cellulóz molekula β-glükóz egységekből áll, melyek 1-4 helyzetben kapcsolódnak egymáshoz hosszú láncot alkotva. A lebontást az úgynevezett celluláz enzimek végzik. Ezeket az enzimeket bizonyos cellulóz-bontásra specializálódott mikroorganizmusok termelik. A lebontás lejátszódhat aerob, vagy anaerob körülmények között baktériumok, sugárgombák vagy mikroszkopikus méretű gombák által (LYND et al., 2002).

2. táblázat. A mezofil aerob- és fakultatív anaerob cellulózbontók legfontosabb típusai (LYND et al., 2002)

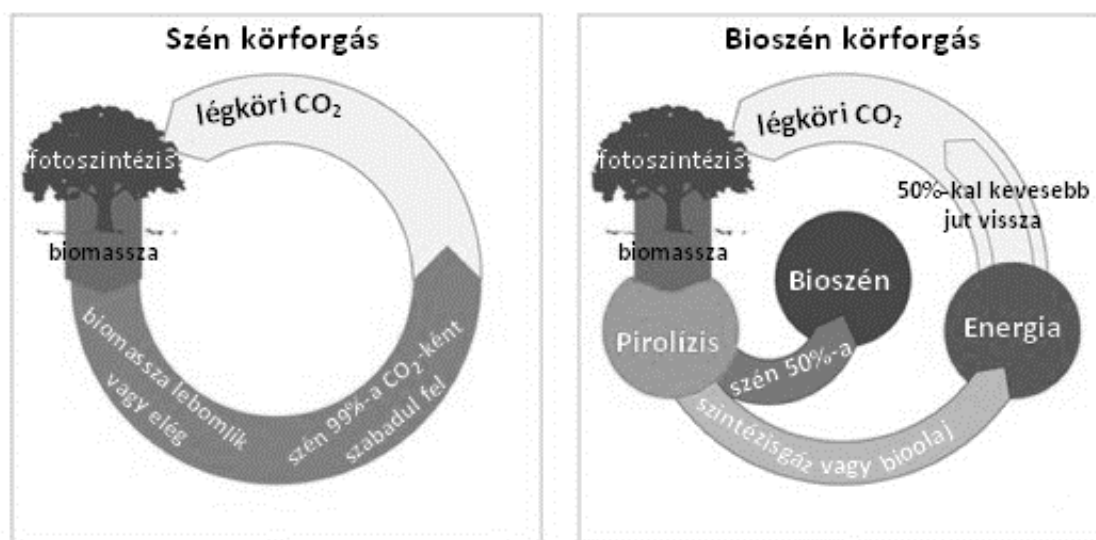
| Aerob cellulózbontók | Anaerob cellulózbontók |
|---|--|
| - <i>Sporocytophaga</i> fajok | - leginkább anaerob pálcikák (<i>Clostridium</i>) |
| - <i>Cellvibrio</i> , <i>Cellfalcicula</i> nemzetség tagjai | - mezofil csoport (<i>Clostridium omelianskii</i>) |
| - <i>Bacillus</i> , <i>Cellulomonas</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Streptomyces</i> fajok | - termofil csoport (<i>Clostridium thermocellum</i>) |
| - enyhén savas közegben az Actinomyceták és a <i>Cytophaga</i> nemzetség tagjai | - Gram pozitív baktériumok |

A humuszanyagok termékenységét növelő hatása más-más módon nyilvánul meg, melynek oka, hogy a szerves szén alkotórészei különböző formákban jelennek meg a talajban. A talaj

tulajdonságaira gyakorolt hatásában jelentős különbség mutatkozik meg attól függően, hogy a humuszban ezek az anyagok milyen kötést alakítanak ki. Leggyakoribb kötést kalcitokkal alkot, de hasonlóan stabil az agyagásvány-humuszkötés is (ez a szmektitokra jellemző), mely hidrogénhidakon át alakul ki. Ezen kötések által állandó talajszerkezet jön létre, mely jó vízgazdálkodást eredményez (STEFANOVITS et al., 1999).

2.6. A bioszén eredete és szerepe a talajban

Az úgynevezett Terra Preta („Fekete Föld”) talaj Dél-Amerikában az Amazonas folyó vízgyűjtő területén található. Széntartalma a környező talajokéhoz képest magas, melynek oka az ott található nagy mennyiségű lebomlott szerves biomassza (3. ábra) (KOC SIS és BIRÓ, 2015a). A Terra Preta kalciumban, magnéziumban, valamint mikroelemekben egyaránt gazdag. A környező talajokhoz képest jobb szerkezettel és vízgazdálkodással, valamint fokozott mikrobiológiai aktivitással rendelkezik, ezáltal javítva a növények tápanyag-ellátottságát (RÉKÁSI és UZINGER, 2015).



3. ábra. A szén és a bioszén körforgása (saját szerkesztés)

2.6.1. A bioszén felhasználási lehetőségei

Tulajdonságait tekintve a bioszén egy finomszemcsés, erősen porózus forma, melynek egyik legfontosabb tulajdonsága az egységnyi tömegre vetített nagy felülete, ami miatt alkalmas lehet a talajok fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságainak a javítására. Az előállításához használt szerves biomassza különleges hőkezelése járul hozzá a nagy fajlagos felület létrejöttéhez. A bioszénnek a nagy szén-tartalma miatt viszonylag lassú a biológiai bomlása, ezért a talajban sokáig megmaradó hosszú felezési idő jellemzi (KOC SIS et al., 2016). Míg a nyers szerves

anyagok tápanyagként szolgálnak a növények és talaj mikroorganizmusai számára, a bioszén katalizátorként működik fokozva a növények tápanyagfelvételét és a talaj vízmegtartó képességét, különösen ha a talaj jó vízellátottságú (KOC SIS et al., 2017). Összehasonlítva más talajjavítókkal, a bioszén nagy fajlagos felülete és porozitása lehetővé teszi, hogy felszívja és megtartsa a tápanyagokat illetve a vizet, emellett élőhelyet is biztosít a hasznos mikroszervezetek számára (HUNT et al., 2010).

2.6.2. A bioszén ipari előállítása

Általában az előállításához felhasznált eredeti alapanyag szerkezete alakítja ki a bioszén főbb fizikai-kémiai tulajdonságait. A bioszén felületének nagyságát és porozitását a nyersanyag pirolízis során fellépő tömegvesztésével hozzák összefüggésbe (AMONETTE and JOSEPH, 2009). A 450°C alatt előállított bioszén mintáknál azt tapasztalták, hogy azok alacsonyabb mértékű porozitással rendelkeznek, ami a pórusokat eltömítő illékony szerves vegyületek jelenléte miatt alakul ki. Ez a tulajdonság a bioszén adszorpciós képességét is befolyásolja. ZHANG és társai (2004) arra jutottak, hogy a bioszén alkalmazása növeli a talaj tápanyaghoz való hozzáférhetőségét, mely a kationok és anionok adszorpciós képességének megnövekedéséből ered. A bioszén alapú talajjavítók potenciálisan képesek növelni az összes talaj specifikus felszín, valamint növelhetik a talaj porozitását a talaj pórusméreteinek és sűrűségének megváltoztatásával (RÉKÁSI és UZINGER, 2015). A bioszén kémiai tulajdonságai a nyersanyagok összetételén túl az előállítás körülményeitől (pl. a pirolízis hőmérséklete, időtartama) is függenek, valamint attól, hogy előállítása során ki volt-e téve gőznek, vagy szén-dioxiddal való érintkezésnek. A 4. ábrán látható rizsből és kölesből előállított bioszén például alacsonyabb C tartalommal és magasabb hamu tömeggel (szilícium-dioxid tartalma legfeljebb 24 m/m%) rendelkezik, mint azok, melyek magasabb lignin tartalmú fás anyagok (pl.: vörös tölgy és vegyes keményfa) felhasználásával készültek (BREWER et al., 2011, RAVEENDRAN et al., 1995).



4. ábra. Különböző alapanyagokból előállított bioszén minták (MAJOR, 2008).

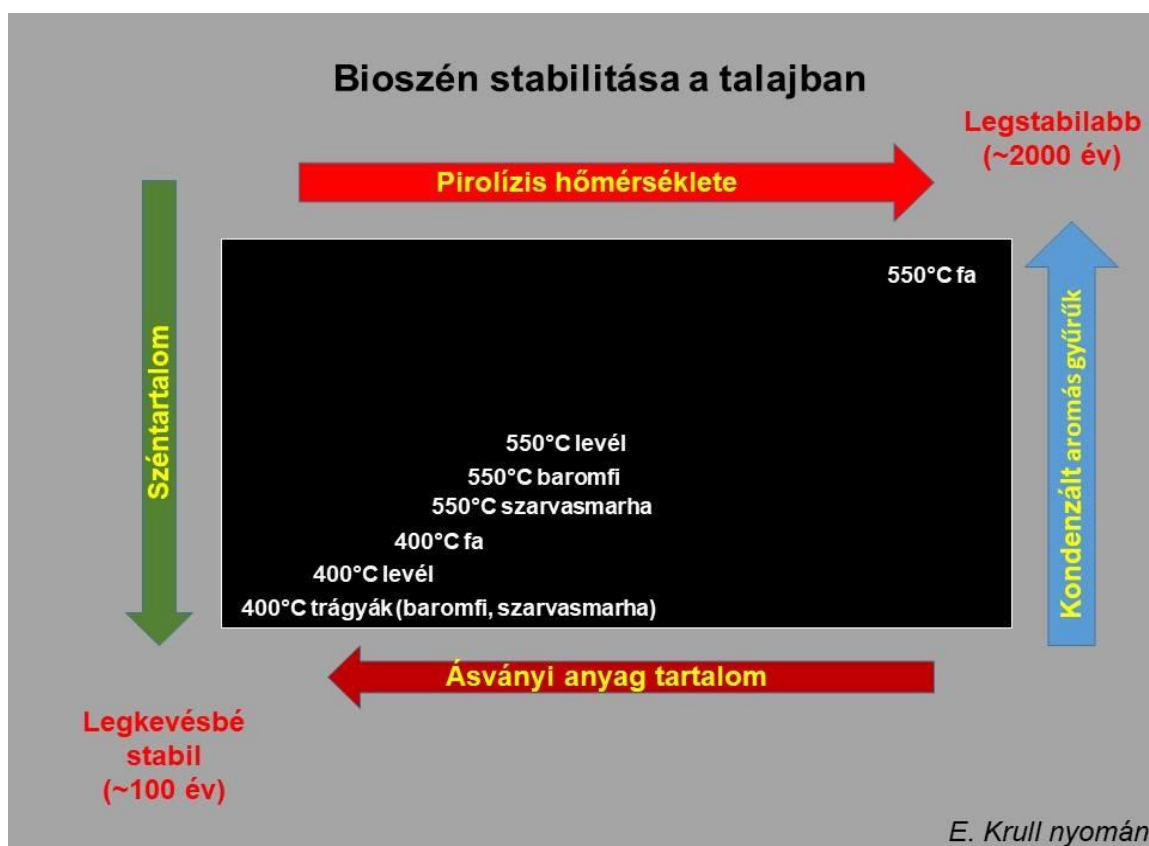
A biomassza alapú nyersanyag széntartalma aromás szénsoportokká, amorf és grafitos szerkezetekké alakul át a pirolízis során. A hemicellulóz alapanyagnál ez 200-260 °C között, cellulóznál 240-350 °C között, nagy lignin-tartalomnál pedig 280-500 °C között következik be, mint átalakulás (ZHANG, 2014).

A bioszén-felhasználás környezeti kockázatai

A pirolízis során a nyersanyagokban található szerves vegyületek feloldódhatnak, majd összefogják a dioxinokat, furánokat, és főként a policiklikus aromás szénhidrogéneket (PAH). A PAH-ok a környezetben mindenhol jelen lévő szennyező anyagok. Vulkánkitörések és erdőtüzek hatására PAH vegyületek szabadulnak fel (KIM et al., 2003), manapság a főbb PAH szennyező források az ipari folyamatokból erednek. Az amerikai US EPA besorolása alapján tizenhat PAH minősül elsődleges szennyezőnek karcinogén, mutagén, vagy teratogén tulajdonságai miatt. Emellett a PAH-ok lipofil struktúrájuk miatt főleg talajszennyezők, tehát az ilyen típusú szennyeződést a bioszén előállítása és talajba juttatása is okozhatja (CHEN és YUAN, 2011). LI és társai (2016) kiemelik a bioszénben megtalálható potenciális szennyező vegyületeket, melyek alapján a pirolízis hőmérséklete, illetve a bioszén nyersanyaga bizonyult a bioszén PAH koncentrációt legjobban befolyásoló tényezőknek. Az előállítás általában több energia felszabadításával jár, mint amennyit elhasznál. Ez a nyersanyag nedvességtartalmától függ. Az előállítása során kibocsátott hő, olaj és gáz egyéb energiatermelő célokra használható fel. A bioszén termelés fenntartható modelljében elsősorban hulladék biomasszát használnak, mint például zöldhulladék, erdészeti, mezőgazdasági hulladék, települési tereprendezésből származó hulladék (HUNT et al., 2010).

Bioszenet a nyersanyagként szolgáló biomassza oxigénmentes hevítésével állítanak elő. A nyersanyag hőbomláson megy át és szénben gazdag maradékká redukálódik. Ezt a folyamatot a szakirodalom egyaránt nevezi **pirolízisnek és karbonizációnak** is (LIU et al., 2013). A biomassza elszenesítéséhez szükséges hőt egy külső kamrából nyerik, vagy a biomasszát tartalmazó kamra inert hőhordozója által közvetítik, amely lehet homok, illetve gáz. Termikus átalakítási módszerek sorát lehet alkalmazni szén-alapú termékek, mint például a bioszén előállítására. Pörkölés, gázosítás, hidrotermikus elszenesítés és ezek kombinációi mind felhasználhatók széntermelésre, de a pirolízis folyamata a bioszén előállításra optimalizált eljárás, ahol a fő cél egy mezőgazdaságilag hasznos termék előállítása kedvezőtlen környezeti kimenetek nélkül. Az elszenesítés pörkölési folyamatok sorából áll (alacsony hőmérséklet, alacsony oxigén-szint) a pirolízistől (alacsony oxigén szint) a gázosításig (magas hőmérséklet, magasabb oxigén szint). Különböző égetési körülmények eltérő termékeket eredményeznek, beleértve a bioszenet, bio-olajat, szintetikus gázt (metán, szén-dioxid, szén-monoxid és hidrogén keveréke), hőt, hamut és néha faecetet (COX et al., 2012).

A bioszén tulajdonságait az előállítási tényezők befolyásolják, beleértve a nyersanyag típusát, a bioszén előállításra szánt nyersanyag előállítását, az előállítási hőmérsékletet, a pirolízis idejét, az égetési arányt (gyors vagy lassú) és az előállítás alatti oxigén-szintet. Nyersanyagot tekintve a dióhéj, a cukornádrost, a kókusz pelyva, az oliva- és dohány hulladék különösen alkalmas a pirolízisre, de más mezőgazdasági anyagok biomasszája is, mint például a gabona, tarlómaradványok, faapríték és fakéreg, fűmaradékok, alom, trágya és például a csirkealom is (6. ábra).



6. ábra. Az előállított bioszén termékek stabilitása az alapanyagok és az előállítási hőmérsékletek függvényében (KRULL, 2009).

A bioszén előállítása (6. ábra) szerves anyag hevítésével, korlátozott, vagy oxigénhiányos körülmények között zajlik. Sok módszer létezik ennek elérésére. Az alkalmazott szerves anyag (nyersanyag) típusa és a bioszén készítésének körülményei nagyban befolyásolják annak minőségét. A bioszén legfontosabb minőségbeli ismérvei közé tartozik a magas adszorpciós és kation kicserélő képesség (CEC) és az alacsony mobilis anyagtartalom (kátrány, gyanta és más rövid élettartamú vegyületek) (HUNT et al., 2010).

Az előállítási hőmérséklet is meghatározó tényező. A nyersanyag darabjainak mérete a hőátadás mértékére hatással van, valamint az alapanyag darabjaiból kifelé áramló gáz mértékét is befolyásolja. A faalapú bioszén 550 °C felett történő előállítása általában nagyobb valószínűséggel ad stabilabb és nagyobb porozitású, ill. adszorpciós képességű terméket, mint az alacsonyabb hőmérsékleten előállított (DOWNE et al., 2009). A kátrány és egyéb szennyeződések (melyek eltömíthetik a pórusokat csökkentve azok kapcsolódását) elpárologtatása hozzájárul a nagyobb mértékű porozitáshoz. KOC SIS és társai (2017) szerint a pirolízis alatt elért legmagasabb hőmérséklet növekedése a bioszén felületének megnövekedését vonja maga után, amely még inkább adszorptív a kémiai reakciók számára. Azonban amikor a magas HTT-t (highest temperature) kombinálják a HTT-nél alacsonyabb olvadáspontú szerves anyagból álló nyersanyaggal, a bioszén pórusai szerves anyagokkal telítődnek, melyek lecsökkentik annak

felületét. Alacsonyabb hőmérsékleten (300–400 °C) a karbonizáció csak részlegesen megy végbe, így kisebb pórusok kisebb felületet is eredményeznek (AMELOOT et al., 2013).

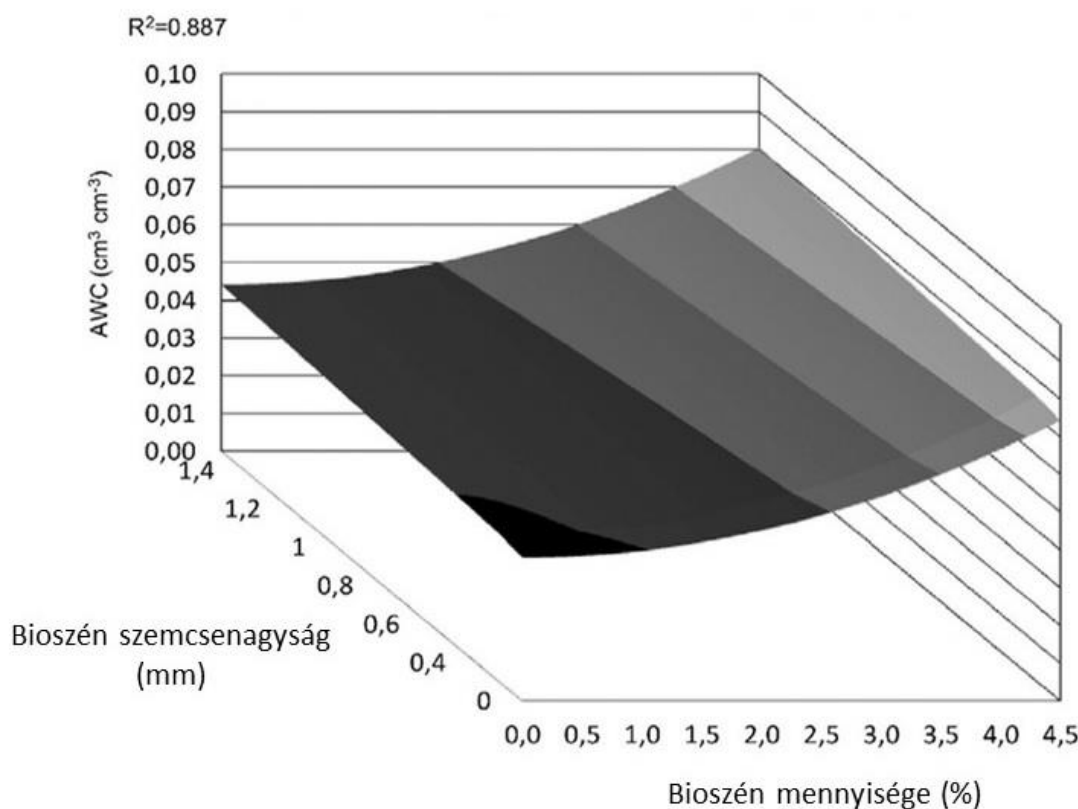
A bioszén termelés során használt tartózkodási idő fogalma az időtartamot jelenti, amelyen belül a nyersanyagot és az adott karbonizációs folyamatot állandó hőmérséklet-tartományban tartják. A magas hőmérséklet és a hosszabb tartózkodási idő kombinációja lehetővé teszi, hogy a karbonizációs reakciók végbe menjenek olyan bioszenek esetében, melyek hidrogén-szén aránya alacsonyabb (általában stabilabb) és valószínűleg nagyobb felülettel is rendelkeznek. Az égetési arány (azaz az égetés és a nyomás mértéke) a bioszén tulajdonságait meghatározó fontos tényező. Minél gyorsabb az égetési sebesség, annál kisebb részecskeméret szükséges annak érdekében, hogy a hő a részecskéken áthaladjon. Így a néhány másodperc alatt végbemenő gyors pirolízishez porszerű nyersanyag-részecskék szükségesek (DOWNIE et al., 2009). A lassú pirolízis nagyobb nyersanyag-részecskékhez alkalmasabb, biztosítva azok teljes elszenesítését (COX et al., 2012).

A bioszénnek a peszticidek viselkedésére gyakorolt hosszú távú hatásai, továbbra is kevésbé ismertek. WANG és társai (2010) a bioszénnel kapcsolatos új problémakörre hívták fel a figyelmet. Eredményeik alapján a Magyarországon is 2006-ban engedélyezett mezotrion és terbutilazin hatóanyagú posztemergens gyomirtó szerek talajban történő adszorpciójának növekedéséről számoltak be a bioszén hozzáadásával. JONES és társai (2011) különböző hatóanyagú herbicidek szorpcióját, biológiai lebonthatóságát és kioldódását vizsgálták bioszén jelenlétében, a talajba való beépülés után. Arra az eredményre jutottak, hogy talajtípustól függően, 10-100 t/ha bioszén dózisok térbeli heterogenitást eredményeztek a talajvíz herbicid koncentrációjában, a talajvíz elérhetőségében és a növényi transpirációban. Véleményük szerint a bioszén gyors adszorpciója csökkentette a herbicidek kimosódását a talajból ugyanakkor lassította azok biológiai lebomlását is, így hatással lehet a talajban alkalmazott gyomirtó szerek hatásosságára.

2.6.3. A bioszén hatása a talajok fizikai-kémiai tulajdonságaira

Egyes szerzők szerint a bioszén előállítás és a boksa égetés során előállított faszén előállítás kémiai szempontból nem tekinthető teljesen azonos folyamatnak (LAIRD, 2008). Más szerzők (VERHEIJEN et al., 2009) szerint ugyanakkor a kétféle termék mind fizikai, mind kémiai szempontból azonosnak tekinthető. Ebből következik, hogy mind a bioszénnel, mind a faszénnel kezelt talajok tulajdonságait elsősorban az adott talaj tulajdonságai, valamint az alkalmazott szén előállítása során felhasznált alap-/kiindulási anyagok minősége határozza meg elsősorban. Több

kutatási eredmény számol be olyan eredményekről, melyek szerint bár a bioszén szerkezetileg intakt, mégis a szénnel kezelt talajok mind szerves anyag tartalomban, mind pedig ásványi anyagokban, ezek közül is a legfontosabb, nitrogén, foszfor és kálium elemekben egyaránt jól ellátottak (SOLOMON et al., 2007, LIANG et al., 2006). Ennek közvetlen és közvetett okai egyaránt vannak. A bioszén előállításánál leginkább növényi hulladékokat és állati trágyákat használnak fel, ami miatt a végtermék arányos az alapanyagok kezdeti összetételével (CHAN et al., 2009; ASAI et al., 2009). A víz és az ásványi talajalkotók magas koncentrációban történő előfordulása a bioszén porózus szerkezetének tulajdonítható, ami adszorbensként viselkedik. GŁĄB et al. (2016) homoktalajt kezelt „plant coal” bioszénrel és arra a következtetésre jutott, hogy a bioszén javította a talaj vízmegetartó képességét (AWC), azonban annak eredményességében szerepet játszik a felhasznált bioszén szemcseösszetétele is (5. ábra).



5. ábra. A talaj vízmegetartó képességének alakulása a bioszén alkalmazási mennyiségétől ($\text{m/m}\%$) és a a bioszén szemcseagyságától függően (mm) (GŁĄB et al., 2016).

A bioszénnek ezt a kedvező tulajdonságát használják ki azokban a szennyezett talajokban, ahol a környezeti (stressz) körülmények (levegőtlenység, tápanyagok hiánya, kritikusan alacsony hőmérséklet egyébként akadályoznák a remediációs folyamatot, például a jégmentesítő propilén-glikol lebontásának az eredményességét (LIBISCH et al., 2012). Más szennyezők esetében a bioszén pozitív hatását emelik ki a talaj porozítására, de a mikroorganizmusoknak nyújtott

élőhely és védő felszíni biofilm réteg is számos talajban, így különösen a kolloid-szegény homok-talajokban kulcsfontosságú (FEIGL et al., 2012). Szintén pozitívan ható tényező a nagy széntartalom miatt kialakuló sötétebb talajsín, aminek következménye a talajhőmérséklet közvetett emelkedése, megnövelve, ezáltal a mikrobiális sejtszám és aktivitás értékeket (GLASER, 2001). A fényelnyelő-képesség javulására és a talajhőmérséklet emelkedésére kifejtett hatásokat főleg az északi, skandináv országok mezőgazdasági gyakorlatában lehet kellően hasznosítani. A bioszén felhasználással így kitolható például a kukorica-termesztés északi határa (OGUNTUNDE et al., 2004).

2.6.4. A bioszén hatása a talajok mikrobiológiai tulajdonságaira

Több kutatási eredmény is leírja, a biológiai eredetű hulladékok, melléktermékek elszenesítésével mesterségesen létrehozott bioszén anyagok jótékony hatását a talaj termékenységre, biológiai aktivitásának növelésére, valamint a talajból származó üvegházhatású gázok (ÜHG) megkötésére is, mint a leginkább vizsgált tulajdonságokra (LEHMANN, 2007; LAIRD, 2008, SOHI et al., 2009). Az ÜHG közül különösen a dinitrogén-oxid (N_2O) és a metán (CH_4) mennyiségi csökkenését emelik ki (SPOKAS és REICOSKY 2009; CLOUGH et al., 2010; SINGH et al., 2010), de fontos tulajdonság a szén adszorpció útján történő megkötése is (ZIMMERMAN et al., 2011). A bioszén, mint anyag leginkább savas kémhatású talajokhoz javasolt, mivel lúgosítja a kémhatást, valamint kation-adszorpció révén képes javítani a tápanyagmegtartó képességet, ezáltal előnyösen befolyásolja a talajok termékenységet (LIANG et al. 2006).

A talajbiótára vonatkozó hatások összefoglalását, a megfelelő következtetések levonását ugyanakkor nehezíti a leírt kísérletek és helyszínek, valamint a vizsgálati módszerek sokszínűsége. Számos esetben a különböző eredmények ellentmondásosak, vagy hiányosak, esetleg csak egyféle tényezőt emelnek ki egy sok-tényezős rendszerből. A bioszén alkalmazásának feltétele erősen függ az adott talaj tulajdonságaitól, a környezeti körülményektől, az alapanyagtól, a dózistól és még számos egyéb biotikus és abiotikus tényezőtől. Felülete 1 grammra vetítve akár 800-5000 mm² is lehet és a porózus, levegős szerkezete közvetve hozzájárul a rendszerint igen nagy mikrobiális aktivitáshoz (TANKA, 2016). A bioszén célzott alkalmazásával a talajbióta közösségekben olyan változások következhetnek be, amelyek okot adnak érdeklődésre, de aggodalomra is. A mikrobiális közösség mennyiségi alakulásánál nem csak a növény növekedése szempontjából kedvező, hanem a talajeredetű, az élelmiszer minőség és biztonság szempontjából potenciális patogénnek tekinthető kórokozók ugyanúgy felszaporodhatnak (BECZNER et al., 2004). Talajvédelmi szempontból az ilyen irányú

kutatások igen nagy jelentőségűek, mivel a talaj mikrobiológiai közösségei kihatnak annak funkcióira és a talaj, mint ökoszisztéma szolgáltatásaira egyaránt (KOTROCZÓ et al., 2009, 2014; SZILI-KOVÁCS et al., 2011a). A működőképességre ható tulajdonság például a szerkezet és stabilitás, a levegőzöttség, a tápanyagkörforgás, a vízháztartás valamint a C megkötés (TÓTH et al., 2013). Ide sorolható a talajoknak patogénekkal szembeni szupresszív, vagy receptív tulajdonsága, amihez a bioszén pozitív és negatív módon képes hozzájárulni. Megnövekedett mikrobiális tömeget állapítottak meg bioszén hatására a legkülönbözőbb talajvizsgáló módszerekkel. Ezek között a legismertebbek, rendre: a közösségi nukleinsav analízis (GROSSMAN et al., 2010; JIN, 2010); a kitenyésztés és/vagy klasszikus telepszámlálós eljárások (O'NEILL et al., 2009); a szubsztrát indukált légzés vizsgálatok (ZACKRISSON et al., 1996; STEINER et al., 2009; WARDLE et al., 2008; KOLB et al., 2009); a fumigációs extrakciós módszer (JIN 2010, LIANG et al., 2010); a foszfolipid zsírsav (PLFA) analízis (BIRK et al., 2009) és a festődő részecskék mikroszkópos vizsgálatai (PIETIKÄINEN et al., 2000; WARNOCK et al., 2007; JIN 2010). Mindezeket túl PIETIKÄINEN et al. (2000) és STEINER et al. (2004) megállapították, hogy a mikrobák reprodukciós rátája is növekedést mutatott a bioszénrel kezelt talajokban. A mikrobiális aktivitás növekedésére vall az is, hogy a biológiai bomlás során képződő metán, mint energiaforrás mennyisége szintén több lett a hozzáadott bioszéntől. Közvetett hatásként az anaerob és a cellulózlebontó baktériumok mennyiségének növekedését is megfigyelték (KUMAR et al., 1987). Az egyes fiziológiai csoportok között tehát a növénytermelés és növényegészség, valamint az élelmiszerminőség és élelmiszerbiztonság szempontjából is sokféle típusú és funkciójú mikroba előfordulhat. Ezen nemzetségek biomasszájának gyarapodása általános jelenség a bioszén kezelés hatására (KOC SIS et al., 2015a), ugyanakkor annak mértékét és elérhető maximumát a vizsgált mikrobacsoportok ökofiziológiai tulajdonságai erősen meghatározzák. Mindez a stressz terhelt szikes talajokon is kimutatást nyert (BIRÓ et al., 2005). A bioszén a nagy széntartalmú cukrokhoz hasonlóan, immobilizálja a talaj könnyen felvehető nitrogén tartalmát és ezzel a környezeti restaurációs törekvéseknek szintén egyik eredményes eszköze lehet (SZILI-KOVÁCS et al., 2011b). Az ilyen irányú felhasználásnak is van perspektívája, bár erre vonatkozóan ismereteink még meglehetősen hiányosak. A talaj-növény rendszerekben leggyakrabban a rizoszféra mikrobiológiai tulajdonságait vizsgálják, ahogy arra példát a 3. táblázat mutat.

JIN (2010) és TRESEDER és ALLEN (2002) úgy találta, hogy a rhizoszférába juttatott bioszén növeli a mikrobák mennyiségét egy bolygatatlan, nem kezelt talajhoz viszonyítva. Az általánosítást azonban nehezíti, hogy ennek a hatásnak GRABER és társai az ellenkezőjéről számoltak be (2010), utalva az alkalmazás erős dóziszfüggőségére is. A mikroszimbionták kapcsolatokban igazolást nyert, hogy a két leggyakrabban előforduló arbuskuláris- (AM) és ekto-

mikorrhiza (EM) jelenlétét és infekcióját is pozitívan befolyásolja a bioszén jelenléte (WARNOCK et al., 2007).

3. táblázat. A bioszénellátott talajok tulajdonságai és hatásuk a talajok főbb szimbióta mikroorganizmus csoportjaira (LEHMANN et al., 2011 alapján).

| Mechanizmus, hatás | <i>Rhizobium</i> | Baktériumok | Mikorrhiza | Fonális gombák |
|---------------------------------------|------------------|-------------|------------|----------------|
| Talajeredetű kórokozók elleni védelem | 0 | + | + | + |
| Hidratáltság | + | + | + | ? |
| P, Ca, Mg, K ellátottság | + | + | - | - |
| Mikro-tápanyag ellátottság | + | + | - | ? |
| pH növekedés | + | + | 0 | 0 |
| pH csökkenés | - | - | 0 | 0/- |
| Szorpciós jelátviteli vegyületek | ?/- | ? | ? | ? |
| Nitrogén (N) ellátottság | - | +/- | 0 | 0 |
| Mikroorganizmusok szorpciója | 0 | + | 0 | 0 |
| Biofilm képződés | + | + | ? | ? |

+: pozitív hatás; -: negatív hatás; 0: nincs változás; ?: nem ismert reakció

Mind az ektomikorrhiza képződés sebessége, mind a gyökér kolonizáció mértéke nőtt (157%-al) a vörösfenyő palánták gyökerein (MAKOTO et al., 2010). A búza rhizoszférájában az AM kolonizáció 40%-al lett nagyobb két év bioszén alkalmazás után (SOLAIMAN et al., 2010). A faültetvényhez adagolt 6t/ha mennyiségű bioszén hatására 20%-os növekedést tapasztaltak a mikorrhiza kolonizációban (SOLAIMAN et al., 2010). Nem ismert azonban, hogy a gombák mennyiségét és a gyökéren túlnyúló extraradikális hifa-tömeget hogyan, milyen mértékben befolyásolja a hozzáadott bioszén. A porózus anyag ugyanis leginkább a belső pórustereivel tud védelmet nyújtani a fizikai sérülésektől, amit például a talaj tömörödése, vagy a talajfauna bontása okoz. A bioszén egyik fontos következménye ezért a belsejében található mikroorganizmusok tényleges felszíni védelme, ami összecseng azok kiszáradásra való érzékenységével (WARNOCK et al., 2007).

A bioszén kedvező hatása a talajban a keletkező gázok, így például a CO₂ felületi megkötődésében is jelentkezik. Ezek az indirekt mechanizmusok befolyással vannak a talajok mikrobiológiai aktivitására és a mikrobacsoportok összetételére (ELMER és PIGNATELLO 2011, LIBISCH et al., 2012, BIRÓ et al., 2013). Az eredmény azonban ugyancsak erősen dózis- és típusfüggő. RILLING (2010) úgy találta, hogy a **hidrotermális úton előállított aktív szén „hidrochar”** tulajdonságai jelentősen eltérnek a pirolizált változattól. A hidrotermális szén nagyobb víztartalma miatt inkább stimulálja az AM gomba spórák csírázását és populációját a

talajban. Alkalmazása esetén viszont csökkenhet az AM gomba-kolonizáció a jobb fizikai-kémiai talajállapotok miatt, ami végül a szimbiózist szükségtelenné teszi (GAUR és ADHOLEYA, 2000; BIRK et al., 2009; WARNOCK et al., 2010). A nagy foszfor-tartalmú, csont-eredetű bioszén alkalmazása mellett az AM szimbiózis csökkenését figyelték meg (CORBIN et al., 2003, COVACEVICH et al., 2006, GRYNDLER et al., 2006, SCHMIDT et al., 2010). Az élő és közvetlen kapcsolatot biztosító hasznos mikorrhiza gombák alapvető szerepe, a jól ismert, foszfor- és egyéb elem-felvételt javító tulajdonságai, vagy akár a stressz-puffer képességük egyaránt nélkülözhetővé válhat a különböző bioszén termékek alkalmazásával.

A bioszén közvetlen negatív hatásait ki lehet még mutatni a nagy só vagy nehézfém tartalmú talajokon is, amelyek rossz kémiai tulajdonságaik miatt gátolják a talaj/rizoszféra kapcsolat kialakulását és működőképességét (KILLHAM, 1985, AZCÓN et al., 2009). A bioszén felületétől, porozitásától függően, szorpciós úton megkötheti nem csak a szennyezőket, hanem azokkal együtt a növénytáplálás szempontjából fontos szerves tápanyagokat is. Ezek hiánya a stressz-terhelt talajban kiemelt jelentőségű lenne (PIETIKÄINEN et al. 2000, CHAN és XU 2009). A bioszén ugyanis a növény-mikroba kölcsönhatás eredményességét csökkenti, ami az együttműködés, a szimbiózis lényegi elemét jelentené. Korábbi eredmények szerint, ha nincs bioszén, akkor a környezeti stressz hatására szikes-, vagy nehézfém-szennyezett talajokon nem a csökkenés, hanem éppen ellenkezőleg a mikorrhiza gombák mennyiségi növekedése, a szimbiotikus kapcsolat javulása figyelhető meg. Ezek az eredmények jelzik tehát a szimbionta kapcsolat érzékenységet, a kölcsönös előnyökre való törekvés ellenére, ami miatt a technológia meggondolandó, vagy csak megfelelő tapasztalatokkal alkalmazandó (BIRÓ et al., 2009; FÜZY et al., 2008).

Csökkentheti a bioszén kedvező hatását a hozzáadott műtrágyák adagolásával előidézett túlzott tápanyagtöbblet is, ami közvetve még a mikrobák szaporodási sebességének a mérséklését is kiválthatja (STEINER et al., 2009). BLACKWELL és munkatársai (2010) az AM kolonizáció javulását csak a legkisebb mennyiségű „starter” műtrágya-adagolás mellett figyelték meg. BIRÓ (2002) szerint a szimbiózist segíteni képes nitrogén-dózis egy alacsony (1.5%) humusz-tartalmú talajon 45kg nitrogén műtrágya/ha mennyiségnek és 120 kg/ha foszfornak felelt meg. Az ennél nagyobb műtrágya adagok a szimbionta működőképesség és a gazdaságos biológiai N₂-kötés többszörös visszaesését váltották ki.

A mikorrhiza gombák tápanyag felvételt segítő hatását leginkább a foszfor tartalmú műtrágyák mérsékeltek, a nitrogén tartalmúak nem. A pillangós növények kezdeti fejlődési szakaszában a szimbiotikus kapcsolatra képes nitrogén-kötő *Rhizobium* baktériumoknál OGAWA és OKIMORI (2010) ezzel ellentétes eredményt mutattak ki. Nitrogén és/vagy foszfor műtrágya hozzáadásával a szimbiózis ki sem alakul, vagy ha igen akkor azt később leépíti a gazdanövény.

A meglévő szimbiózisnál a működést jelző és biztosító arbuszkulum gazdagság a növény igénye szerint akár 8 nap alatt visszacsökkenhet, vagy ismét ki is alakulhat (FÜZY et al., 2008).

A bioszén anyaga, előállítási hőmérséklete és a kijuttatott mennyiségének függvényében, a talaj savanyúsága elérheti a 4-nél alacsonyabb, lúgossága pedig a 12-t meghaladó értéket (LEHMANN, 2007, CHAN and XU 2009). Azonos környezeti feltételek mellett a mikrobiális biomassza alakulása növekvő tendenciát mutat a pH=3,7-től a 8,3-as pH felé növekvő tartományban (ACIEGO és BROOKES 2008; BIRÓ 2012; FEKETE et al., 2012). A gombák és a baktériumok azonban különböző módon reagálnak a talaj kémhatásának változásaira. A baktériumok száma tömegesen növekszik 7-es pH környékén, a gombák állománya nem változik a semleges értékeknél (ROUSK et al., 2010) és mennyiségük csökken a lúgosabb pH tartományban (ROUSK et al., 2009). Hasonló összefüggést figyeltek meg különböző *Rhizobium* törzsekkel infektált hüvelyes növényeknél is (ANGELINI et al., 2003). Fontos tényező az is, hogy mekkora mértékben oxidálódott a bioszén a talajba kerülést követően (CHENG et al., 2006).

Kevés közvetlen bizonyíték áll rendelkezésre arról, hogy a bioszén fizikai-kémiai adszorpciós tulajdonságai miatt a növényi tápanyagok fokozottabb felvehetősége (közvetlen hatás), vagy a bioszén pórusaiban nagyobb mennyiségben megtelepedő mikroorganizmusok (közvetett hatás) okozzák-e a növény növekedésében kimutatott kezdeti kedvező hatásokat. A jövőben várható a mikrobiológiai oltóanyagok és a bioszén alkalmazások kombinált használata, tovább fokozva a biotrágyák, növény-kondicionálók és egyéb biokontroll ágensek, vagy élő és élettelen bioeffektorok mezőgazdasági és környezetvédelmi térhódítása (WARNOCK et al., 2010).

2.6.5. A bioszén hatása a talaj a termőképességére

A bioszén talajban való alkalmazásának menetét a pozitív környezeti hatások érdekében először az amazóniai termékeny fekete, úgynevezett „Terra Preta” talajokon végzett tapasztalatok alapján fejlesztették ki (CROMBIE, 2014). A bioszén műtrágyák, vagy komposztok adalékanyagként egyaránt felhasználhatók (GLASER et al., 2001). Idővel, a bioszén szerkezeti degradálódásával a kation kicserélő képessége is csökken. A bioszén fizikai felépítése, elsősorban annak pórusmérete (mely nagyban meghatározza az előállított bioszén felületét, vízvisszatartó képességét és biológiai hasznosíthatóságát) lényegében a hőkezelés módosításakor alakul ki. A növény-növekedés szempontjából ideálisabb, ha a bioszén felületén különböző méretű pórusok találhatók, fokozva a talajok fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait. (HUNT et al., 2010). Az eddigi kutatási eredmények többsége igazolta a bioszén kedvező hatását a talajok termőképességére (LEHMANN et al., 2003a; BLACKWELL et al., 2009). A szerzők a vizsgálatok 90%-ában jelezték a bioszén terméshozadékot indukáló hatását. LEHMANN és RONDON 2006-os

kutatása szerint a termés 20-220% között nőtt a bioszén mennyiségével arányosan, bár ez BLACKWELL (2009) véleménye szerint csak az intenzív szántóföldi kultúrára vonatkozik és nincs adat más, pl. biotermesztésű területekre. MAJOR (2010) a kukorica állomány szója felületével történő termésnövekedését és tápanyag utánpótlását vizsgálta 2003 és 2006 között. A növényi bioszén 8 és 20t/ha mennyiségben alkalmazta. A termés az első évben nem, de az utána következő években a 20t/ha kezelt parcellákban 28-, 30- és 140%-os javulást mutatott (MAJOR et al., 2010). A hatás a jobb tápanyagfelvételnek, elsősorban a talajok 77-320%-kal nagyobb Ca és Mg tartalmának tulajdonítható a bioszénrel javított parcellákban. A dózishatásokra és a tér-, időbeli távolságokon alapuló összehasonlíthatatlanság miatt olyan hiányosságokat emelnek ki, mint a későbbi években megnyilvánuló mérsékeltebb termésnövekedés, ami felhívja a figyelmet a tartam-hatás jellegű vizsgálatok fontosságára és a folyamatos talaj-monitoring szükségességére.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A kísérletek megtervezése

Dolgozatomban növényi eredetű bioszén (plant-coal biochar) hatását vizsgáltam gyengén humuszos (H \sim 1,5%) homoktalajon a Szent István Egyetem, Kísérleti Üzem és Tangazdaságának Ökológiai ágazatában 2015-16 között. A kísérlet során felhasznált bioszén fabrikettből termikus pirolízissel \sim 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 (PGPR) baktérium-oltás hatását vizsgáltam a bioszénrel kezelt talajokon szabadföldi és tenyészedény kísérletekben.

3.1.1. A kutatási helyszínek bemutatása

Soroksár (Budapest XXIII. kerület) az Alföldön, azon belül is a Pesti-síkságon fekszik. Északról a XX. kerület, nyugatról a Ráckevei-Duna-ág, délről a főváros közigazgatási határa keletről pedig a XVIII. kerület határolja. A szabadföldi kísérlet helyszínéül szolgáló Szent István Egyetem Kísérleti Üzem és Tangazdaság a kerület közepén helyezkedik el. Domborzati (N 47°40'; E 19°15') adottságait tekintve síkság, tengerszint-feletti magassága nem haladja meg a 200 métert. Az MTA TAKI Agrotopográfiai Adatbázisa szerint a terület talajtani jellemzői a következők. A talajképző kőzet glaciális és alluviális üledék, melyen humuszos homoktalaj jött létre. A termőréteg vastagsága meghaladja a 100 centimétert, szervesanyag-készlete a területen 100-200 tonna/hektár körül van. Az itt található arenosol talaj (IUSS, 2014) nagy vízelvezető-képességű, gyenge vízgazdálkodású talajok közé tartozik, vízmegtartó képessége nagyon gyenge, ami növénytermesztési szempontból nem előnyös. Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján, Soroksár a mérsékelt meleg-száraz éghajlati körzetben helyezkedik el. A területet 4400-4450 MJ/m² évi átlagos global sugárzás (a Napból érkező közvetlen sugárzás, valamint az égbolt minden részéről érkező szórt sugárzás összege) éri, napfényes órák száma átlagosan évi 2000 óra, mely 10-11 °C évi átlagos középhőmérsékletet eredményez. Csapadékviszonyait tekintve száraz terület, az évi átlagos csapadékmennyiség 500-550 milliméter között alakul. A legtöbb csapadék a május-július közötti időszakban hullik, a legkevesebb pedig január és március között. Szélirány szempontjából az északnyugati szél a

meghatározó, a délies szeleknek másodmaximuma van. Éves szinten az átlagos szélsősebesség 2,5-3 méter/szekundum.

A tenyészedény kísérleteket, a Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékének fényszobájában végeztük el. Paradicsom kísérletben 10+2 (előcsíráztatás)-, míg a kukorica esetében 2+2 hét volt a kísérletek időtartama.

3.1.2. A kísérletek beállítása

A kutatás két részből és két ütemből állt. Szabadföldi és tenyészedény kísérletekben az első évben a tanszéken folyó EU-fp7 pályázat kísérleti tervéhez igazodva (http2) paradicsom (*Solanum lycopersicum* L. var. Mobil) használtunk, míg a második évben FAO 370-es DKC 4490 (Monsanto) kukorica (*Zea mays* L.) hibridet alkalmaztuk kísérleti növényként, amely egy középérésű (termésidő 76 nap), átlagosan 13t/ha termést hozó fajta (2014-es országos átlag).

A szabadföldi kísérlet során a bioszén dózist 4 és 10 t/ha mennyiségben forgattuk be a talaj felső 30 centiméteres rétegébe, 10 négyzetméteres parcellákban. Ezek a mennyiségek a talaj felső, 20 cm-es vastag rétegére átszámolva megfeleltek 0,5- és 1,25 m/m%-os bioszén alkalmazásnak. Az egyes dózisokat vizsgáltuk önmagukban, illetve saját izolálású bioeffektor (BE) baktérium oltóanyaggal kombinálva három-három ismétlésben. Kezelésként három-három párhuzamos ismétléssel, a kontrolkezelést is beleszámítva a kísérleti terület összesen 180 négyzetmétert tett ki, mind a két vizsgálati évben.

A tenyészedény kísérletben a bioszén (B) dózisokat, a bemért talaj 0,5-; 1-; 2,5-; 5- és 10 %-a között adagoltuk a talajhoz, kezelésként 8 párhuzamos ismétlésben. A növényi bioszén az Ausztriai Land Management cég állította elő. A kísérlet kezdetén, minden második növénynek 5 cm^3 , $1,5 \times 10^8$ sejt/ cm^3 titer mennyiségben mezofil talajbaktériumot adtunk. Bioeffektornak a kísérleti helyszín talajából, korábban izolált vas-kelátképző baktérium törzset használtunk. A kísérletben 24 °C-os nappali (14 óra, 14000 LUX) és 18°C fokos éjszakai (10 óra) hőmérsékletre és 60%-os vízkapacitás fenntartására törekedtem, tenyészedény tömeg visszamérés alapján. Ökológiai gazdálkodásban tilos, bármiféle műtrágya felhasználása, így a tápanyag utánpótlást a szabadföldi kísérletekben granulált szerves trágya kijuttatásával valósítottuk meg. A bővített talajvizsgálati eredményekre alapozva, a kísérleti parcellákban nitrogén utánpótlásra volt szükség. Az alábbi mennyiségben történtek nitrogén hatóanyag ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) kijuttatások a paradicsom kísérletben: 0,79 kg/parcella, kukorica kísérletben 0,52 kg/parcella. Paradicsom tenyészedény kísérletben, 2,5 kg-os edényenkénti talajtömeggel számítva 50 gramm-, míg kukorica esetén 200 grammos edényenkénti talajtömeggel számítva 4 gramm szerves trágya granulátumot (100 mg N/kg) adagoltam a talajhoz.



7. ábra. Tenyészedényes és szabadföldi kísérletek a.) paradicsom b.) kukorica teszt növényekkel talajba kevert bioszén hozzáadásával. Soroksár, 2016-2017.

3.1.3. A mintavételek módszertana

A szabadföldi vizsgálataim során mind a paradicsom, mind pedig a kukorica kísérletben a talajmintákat a fejlődés három stádiumában: szikleveles állapot, a teljes állomány 60%-os virágzásakor és a termés betakarításakor gyűjtöttem. A vizsgálatok során a biomassza adatok vizsgálata mellett, a talajmintákból mikrobiális enzimaktivitás (dehidrogenáz-, fluoreszcein diacetát) méréseket, valamint egyes kiemelt mikroba csoportok (mezofil aerob-, fakultatív anaerob baktériumok, fluoreszcein pigmentet termelő *Pseudomonas* sp. és fonalas gomba sejt szám) alakulását vizsgáltam COCHRAN (1950) munkája alapján határhígítási módszerrel.

A kísérletek bontásakor, a termés mennyiségén kívül vegetatív biomasszát is gyűjtöttem további vizsgálatok céljából. A terméskből oldott szárazanyag tartalom (Brix) és szénanyagokat vizsgáltam, míg a növény levél- és szár maradványaiból, az ott felhalmozódott tápelemek koncentrációját atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) mértük.

A tenyészedény kísérletek végére (paradicsom 12 hét, kukorica 4 hét) a növények még nem érleltek termést, így a talajvizsgálatok mellett a növényben (hajtásban) felhalmozódott makro- és mikrotápelemek koncentrációját vizsgáltuk.

Vizsgálataim során az alábbi mintavételi eljárást követtem:

- A talajminták gyűjtése mindig azonos mélységből a növényi rhizoszférából történt.
- Minden parcellából legalább három ismétlésben vettünk talajmintát majd azt elektromos rázatón homogenizáltuk így kezelésként három homogenizált mintával rendelkezünk.
- A láthatóan sérült (pl. vadkár, rothadó félben lévő, vagy kártevővel fertőzött stb.) növényeket nem vizsgáltam, mivel célom az egészséges növények morfológiai paramétereinek vizsgálata volt.

3.2. A fizikai-kémiai vizsgálatok módszerei

3.2.1. A talaj fizikai és kémiai vizsgálata

A kísérletek indításakor a talajban felhalmozódott tápelem tartalmát az alábbi módszerekkel vizsgáltuk:

- Szénsavas mésztartalom meghatározása (MSZ 08-0206-2:1978), (2. fejezet)
- Vízben oldható összes sótartalom meghatározása (MSZ 08-0206-2: 1978), (4. fejezet).
- Humusz (szervesanyag-tartalom) meghatározása (MSZ 21470-52:1983), (2. fejezet).
- Arany-féle kötöttségi szám meghatározása (MSZ 21470-51:1983).
- A talaj kémhatásának (H₂O) vizsgálata MSZ-318-4:1979 (5. fejezet), 24 órás állást követően.
- Mintaelőkészítés oldható tápelem-tartalom meghatározásához (MSZ 20135:1999), (2-4. fejezet).
- Nitrit-N (tápelem-tartalom meghatározás 1:2,5 KCL kivonatból (MSZ 20135:1999), (5.4.3. szakasz).
- Nitrát-N (tápelem-tartalom) meghatározás 1:2,5 KCL kivonatból (MSZ 20135:1999), (5.4.4. szakasz).
- Kioldható tápelem-tartalom meghatározása Induktív csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) segítségével EPA 6020A:2007 AL-kivonatból; Na, P₂O₅, K₂O. KCL-kivonatból; Mg, S. EDTA kivonatból; Mn, Cu, Zn szabvány alapján.

3.2.2. A bioszén fizikai-kémiai vizsgálata

A kísérletben felhasznált bioszén előállítása során a termékben visszamaradt **Policiklusos Aromás Szénhidrogének** (PAH) csoportjának kimutatását nagyhatékonyságú (nagynyomású) folyadékkromatográfiás (HPLC) technikával végeztük, CEN/TS 16181:2013 nemzetközi szabvány szerint, a Szent István Egyetem, Gyümölcsstermő Növények Tanszékén. Az alkalmazott műszer egy Waters gyártmányú nagyhatékonyságú folyadékkromatográf (HPLC: *High Pressure Liquid Chromatography*) volt. Az előkészítés során a mintákat dörzsmozsárban roncsoltuk, majd szén-diszulfiddal extraháltuk.

A bioszén hosszútávú vizsgálata a talaj fiziko-kémiai tulajdonságaira

A bioszén hosszútávú hatásáról a talajok fiziko-kémiai tulajdonságaira az amazonasi Terra-Preta kutatásokon kívül nincsenek konzisztens adatok, ezért a hosszútávú hatások modellezésére a Kárpát medencében tradicionálisan folytatott korábbi boksaégetési helyszínek szolgálták. Ennek okán a magyarországi helyszínnel is rendelkező Detritus Input and Removal Treatments (DIRT) kísérletek módszertana alapján olyan talajokat mintáztunk, melyek különböző korú alacsony hőmérsékleten (450-550 °C) pirolizált faszén tartalmaztak. A mintavétel négy helyszínen, három ismétlésben történt nagy kiterjedésű zonális cseres-tölgyesben, Ramann-féle barna erdőtalajon (48° 24' N; 20° 43'E). Egy kontrol és három boksa helyszínen, ahol, 20, 30, illetve 70-80 évvel ezelőtt folyamatos faszén előállítás történt a hagyományos faszénégetési módszerrel. A talajmintavétel mélységét az határozta meg, hogy hol találtuk meg a bioszén réteget a talajban. Ennek megfelelően a mintavétel, a feltalaj eltávolítása után 5 és 35 cm között történt. Reprezentatív talajmintákat vettünk a bioszén tartalmazó rétegből, 3-3 ismétlésben, illetve a szén nem tartalmazó kontrol talajból. A kémiai vizsgálatok számára a mintákat kiszárítottuk és a növényi maradványokat eltávolítva tároltuk a vizsgálatok megkezdéséig. A kémiai vizsgálatok során megmértük a talaj pH-ját. A szerves széntartalom meghatározását Walkley-Black- míg az összes szerves anyag meghatározását izzításos (LOI, „loss on ignition”) módszerrel is elvégeztük (COMBS és NATHAN, 1998). Kjeldahl módszerrel mértük az összes nitrogént (N) valamint a növények számára felvehető ásványi nitrogén (NH_4^+ és NO_3^-) mennyiségeket. Spektrofotometriás eljárással a foszfor (P_2O_5) és lángfotometriával a kálium (K_2O) koncentrációkat vizsgáltuk. A kation-csere kapacitást (CEC) az MSZ-08-0215-1978 alapján leírtak szerint végeztük módosított Mehlich-eljárással.

3.2.3. Növények tápelemfelvételének vizsgálata

A tenyészedény- és szabadföldi kísérletek zárásakor a növények (paradicsom, kukorica) által felvett tápelemek (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mg) mennyiségét vizsgáltuk. A minta-előkészítés során az egyes kezelésekből átlagmintákat készítettem, amelyek feltárását különböző módszerekkel végeztem, a vizsgált tápelem és műszer függvényében. A kísérletek során, a növényekben koncentrált tápelem vizsgálatát az alábbi módszerekkel végeztük:

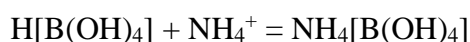
A minták feltárása: A mintákat tömény szelénis kénsavban tártuk fel (cc H₂SO₄ +Se), mely során 4 órán át kb. 500 °C-on forraltuk az anyagot. A roncsoláshoz 0,5 g mintát mértünk be, és 10 cm³ tömény szelénis kénsavat adtunk hozzá. A roncsolás végén a mintát desztillált vízzel 50 cm³ térfogatra egészítjük ki.

A nitrogéntartalom meghatározása: Savas feltárás után a mintában NH₄⁺ formájában található meg a nitrogén, amelyet vízgőz desztillációs módszerrel szabadítottunk fel tömény NaOH hozzáadásával. A keletkező ammónia gázt (NH₃) bórsavas szedőlombikba gyűjtöttük és titrálással határozzuk meg. A vizsgálat eszköze a **Pro-Nitro M** vízgőz desztillációs készülék, mely az alábbi elv alapján működik:

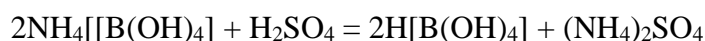
1. Az NH₄⁺-ből az NH₃-t lúgos közegben, NaOH hozzáadásával szabadul fel:



2. A lecsapódó NH₄OH bórsavban fogható fel:



Az ammónium-borát mennyiségét kénsavas titrálással határozható meg gyengén savas átcsapási pontú keverékindikátor segítségével:



A vizsgálat menete:

1. A minta tömény kénsavas feltárása.
2. Desztillálás: 10 cm³ mintát a desztilláló edénybe mértük és 6 cm³ 33%-os NaOH-t fecskendeztünk a készülékbe. Kb. 8 perc alatt végbement a desztillálási folyamat. A desztillátumot 10 cm³ 1,5%-os H₃BO₃-at és 2 csepp keverék indikátort tartalmazó szedőlombikba gyűjtöttük. A desztillálást ugyanígy elvégeztük a kivonószerral is (vakpróba), hogy a környezet hatását figyelembe tudjuk venni (a minta eredményéből ennek ammónium-tartalmát ki lehessen vonni).
3. Titrálás: a szedőlombik tartalmát 0,005 M-os H₂SO₄-val titráltuk (zöld→kék), ennek fogyásából (és a vak értékének levonásával) számítottuk ki a N koncentrációját.

4. Számítás: 1 cm^3 kénsavfogyás egyenlő $0,14 \text{ mg N-nel}$. 10 cm^3 mintában $0,1 \text{ g talaj N}$ tartalma van. $N \text{ (mg/kg)} = \text{fogyás} \times 0,14 \times 10000$

A **foszfortartalom** meghatározása a savas kivonatból ammónium-molibdenát + ammónium-metavanadát reagens hozzáadásával, spektrofotométerrel történt.

A vizsgálat menete

1. A minták tömény kénsavas roncsolása.
2. Standard sor elkészítése és lemérése spektrofotométeren: a standard sor tagjaiból kipipettáztunk 1 cm^3 -t főzőpohárba, hozzáadunk 10 cm^3 ammónium-vanadát reagenst, majd 5 percig állni hagyjuk; 400 nm hullámhosszon abszorbanciát mérünk (kalibráló függvény felvétele).
3. A mintákból kipipettáztunk 1 cm^3 -t főzőpohárba, hozzáadunk 10 cm^3 ammónium-vanadát reagenst, majd 5 percig állni hagyjuk. Az oldatokat 400 nm -en fotometráltuk.
4. Számítás: a minták abszorbanciáját behelyettesítettük a kalibráló egyenletbe.

A **fémek elemek** meghatározása: A vizsgált elemeket közvetlenül, reagens hozzáadása nélkül atomabszorpciós spektrometriával (AAS) határoztuk meg. Az atomabszorpciós módszerek során elsősorban termikus energia segítségével (esetünkben acetilén láng) alapállapotú szabad atomokat állítunk elő, majd az így létrehozott atomok által elnyelt (abszorbeált) elektromágneses sugárzást (fényt) vizsgáljuk. Ebből a sugárzásból, mely egy külső fényforrásból származik, az atom a gerjesztési energiájának megfelelő hullámhosszúságú fotont elnyeli, és így gerjesztett állapotba kerül (elektrongerjesztés). A sugárzás azon része, mely nem fordítódik a gerjesztésre tovább halad a detektor felé, ahol így fényintenzitás csökkenést mérünk (adott hullámhosszon). Ez a fényintenzitás csökkenés egyértelmű kapcsolatban áll a fényelnyelést okozó atomok koncentrációjával. A mérés előtt standard sorozatot veszünk fel, ami alapján a készülék a detektorjel és a koncentráció közötti összefüggést meghatározza, ill. számítja a minták koncentrációját. Az atomabszorpciós spektrofotométer típusa: Aurora Trace AI 1200 (8. ábra).

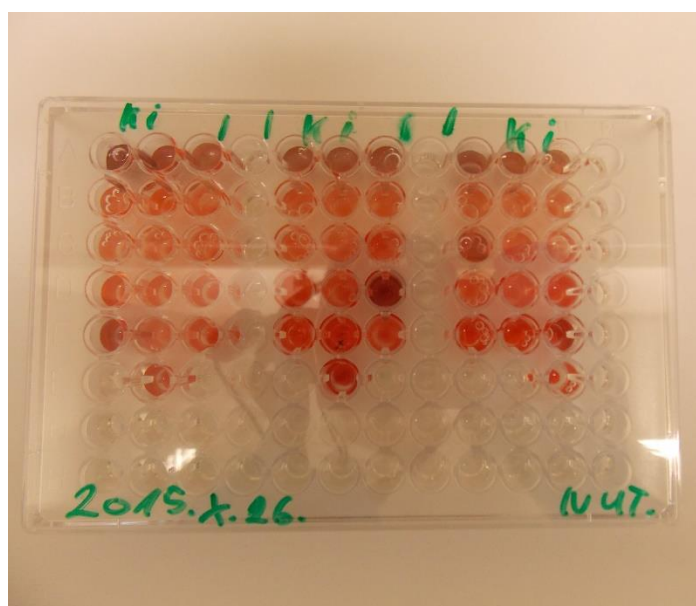


8. ábra. Aurora Trace AI 1200 atomabszorpciós spektrofotométer porlasztófeje.

3.3. A biológiai vizsgálatok módszerei

3.3.1 A talaj biológiai vizsgálata

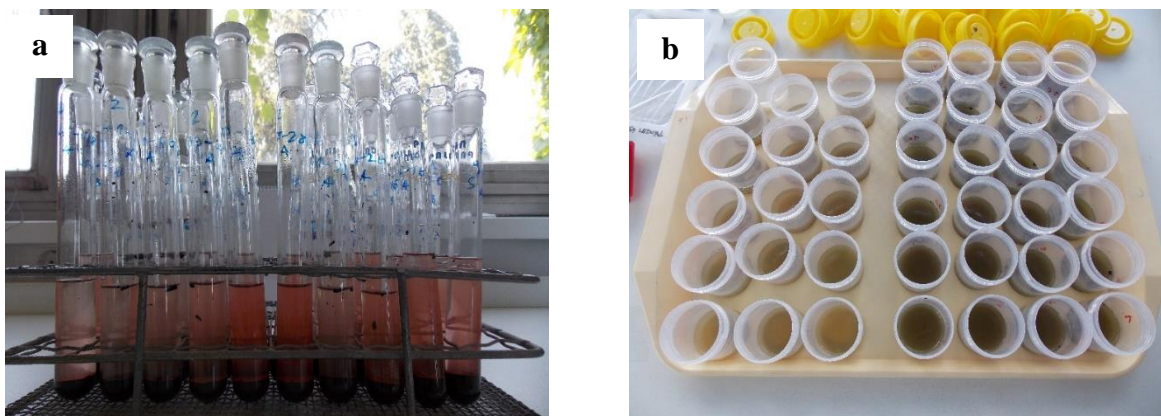
A kijuttatott bioeffektor talajban előforduló **mezofil élősejtszámának** meghatározására az **MPN** (Most Probable Number, azaz a legvalószínűbb élő sejtszám) módszert alkalmaztam a MSZ 21470-77:1988 szabványt követve. A talajban előforduló mezofil mikroba csoportok (aerob, fakultatív anaerob, aerotoleráns anaerob, pigment termelő *Pseudomonas*, fonalas gombák) sejtszámát ugyancsak **MPN** (Most Probable Number) módszerrel végeztem (9. ábra), amely egy határhígítási eljárás, mely során a tenyésztést folyékony tápközegben végeztem, a sejtszámot pedig statisztikai alapon Hoskins táblázat alapján számítjuk ki (BIRÓ, 1993).



9. ábra. MPN vizsgálat mikrotiter lemezen, a kiindulási talajminta mezofil sejtszámára, háromszoros leoltásban.

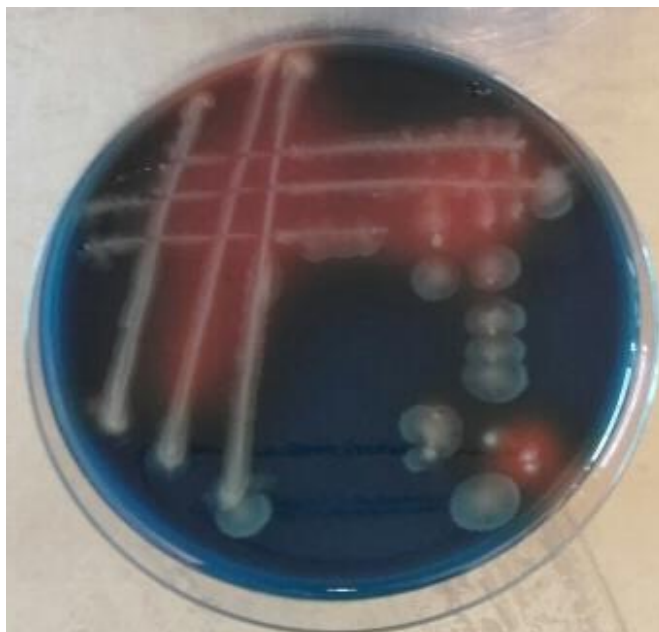
Dehidrogenáz enzim meghatározását THALMANN (1968) módosított TTC módszere alapján végeztem (VERES et al., 2013). Az enzimaktivitás meghatározásakor a talajmintához adott trifenil-tetrazolium-klorid (TTC) a dehidrogenáz enzim jelenlétében redukálódik és sötétvörös trifenil-formazánná alakul át, amelyet fotometriásan mértem. Minden parcelláról hálólapú mintavétellel vett talajmintákból zárható kémcsövekbe 2-2 g nedves talajt mértem ki (A, B alminták) és 2 ml 1,5%-os TTC-t adtam hozzá, majd kémcsőkeverő segítségével homogenizáltam (10/a. ábra). A kémcsöveket lezártam és inkubáltam 24 órán át 37 °C-on (VERES et al., 2015).

A talaj **teljes katabolikus enzim aktivitását FDA** (fluorescein diacetát) hidroláz enzimaktivitás módszerrel határoztam meg SCHNÜRER és ROSSWALL (1982) munkája alapján. Az fluorescein diacetát hidrolízisét katalizáló enzimaktivitás során a szintelen FDA-t hidrolizálják a szabad és a membránhoz kötött enzimek, ezáltal felszabadítva egy színes végterméket, amely spektrofotometriásan mérhető (10/b. ábra). Így az aktivitás révén közvetve megállapítható az összes baktérium és fonalas gomba biomasszája a talajban (SCHNÜRER ÉS ROSSWALL, 1982).



10. ábra. Bioszénnel kezelt talajminták a.) Dehidrogenáz-, b.) Fluoreszcein diacetát enzim aktivitásnak mérése.

Sziderofor termelő baktériumok izolálását SCHWYN ÉS NEILANDS (1986) által kidolgozott, a *Pseudomonas*-ok teszteléséhez módosított, krómazurol-tartalmú King's B szilárd tápközegen végeztem (11. ábra).



11. ábra. Kelátképző növénynövekedést serkentő baktérium izolálása krome-azurol tartalmú King's B agaron. A sziderofor-termelést a telep körül kialakult narancs szín jelzi.

Az izolált bioeffektor baktérium **teljes 16S rRNS szekvenciájának** elemzése az alábbi módon történt. Az 519R primerrel készült szekvencia végéről a 27F primer szekvenciáját levágtuk és az így kapott parciális 16S rDNS szakaszt a közös átfedő szakaszok alapján a többi három primerrel (27F, 338F és 1492R) készült szekvenciákkal összeillesztettük (LANE, 1991). Az így kapott teljes 16S génszakaszt két adatbázissal szemben is illesztettük, amelyek a National Center for Biotechnology Information (NCBI) nyílt forrású adatbázisa (ALTSCHUL et al, 1997) valamint az EzBioCloud (YOON et al., 2017) baktérium típusörzsek teljes 16S rRNS gén szekvenciáit tartalmazó adatbázisai voltak.

3.3.2. A növényi biomassza vizsgálata

A **biomassza mérésnél** a növényi biomassza tömeget (hajtás, gyökér) vizsgáltam. Tenyészedény kísérletben bontáskor mértem zöldtömeget, illetve gyökértömeget. A szabadföldi mintáknál két alkalommal történt tömegmérés. Első alkalommal BIRÓ és társai (1993) munkája alapján a növények 60%-os virágzási állapotában, amikor a szakirodalom szerint a növény-mikroba kapcsolatok a legintenzívebbek.

Az összes **Vízoldható Szárazanyag-Tartalmat** (TSS) CSAMBALIK (2014) munkája alapján HI 96801 típusú digitális refraktométer segítségével vizsgáltam. A mérést megelőző kalibrációhoz desztillált vizet használtam, majd a vizsgálathoz az összezúzott majd leszűrt gyümölcslezből néhány cseppet cseppentettem a műszerre. Az eredményt brix-fokban adtam meg.

A paradicsom minták **pH értékeinek** mérését AD-8000 típusú digitális pH-mérővel végeztem, melyet közvetlenül a mérést megelőzően pH 4,01 és pH 7,00 kalibrációs oldatokkal kalibráltam.

A paradicsom bogyók **nedvszínét** Sheen Micromatch Plus CIELab tristimulusos színmérő műszerrel határoztuk meg az azonos kezelésekből begyűjtött bogyók összezúzásával majd leszűrésével, végül a szűrletből végrehajtott direkt méréssel. A műszer kalibrálása a hozzá tartozó kalibráló fehér csempe etalonnal történt. Az alábbi paramétereket határoztuk meg: L* (világosság/sötétség), a* (vörös/zöld összetevő), b* (sárga/kék összetevő). A színmérő műszert és annak elméleti hátterét szemlélteti SIPOS (2017). A mért adatokkal számolva, direkt összefüggés lévén kalkulálható a színárnyalat és az érettség (HAJAGOS, 2015).

3.3.3. Mikroorganizmusok környezeti érzékenysége

Új típusú szulfonilamino-karbonil-metil-triazolinon (SCT) hatóanyagcsoportba tartozó propoxikarbazon-nátriumot és tienkarbazon-metilt tartalmazó herbicidek hatását vizsgáltam autentikus (típus) mikroba törzsek (7. táblázat) érzékenységére lemezöntéses módszerrel, szilárd táptalajon. Az SCT-k hatásmechanizmusukat tekintve az ALS-gátlók (acetolaktát-szintetáz működést gátló herbicidek) csoportjába tartoznak. A fehérje-anyagcserét az aminosav-bioszintézisen keresztül zavarják. A vizsgálathoz szükséges mikroorganizmusokat a Dunaújvárosi Egyetem, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszéke szolgáltatta. A kísérletet úgy állítottam be, hogy a herbicidek végkoncentrációja 0,001-; 0,01-; 0,1-; 1-; 10 mg/l legyen a táptalajokban. A mikrobák szelektív táptalajokon Petri csészékben kerültek kitenyésztésre (Nutrient agar - baktériumok, Arginin-glicerin táptalaj - *Actinomyces*, King B agar – *Pseudomonas* és Kongóvörös agar - *Rhizobium* törzsek számára). A herbicidek megfelelő koncentrációit a lemezöntés előtt adagoltam a táptalajba. A legtöbb baktérium nemzetség esetén az inkubációs hőmérséklet 28 °C-ra állítottam. Kivételt képezett az enterális eredetű és potenciálisan patogén *Escherichia coli*, amit Harlequin agaron, 37 °C-on inkubáltam. Az inkubálás idejét nemzetségtől függően határoztam meg *Pseudomonas* - 24 óra, *Actinomyces* - 72 óra, míg a többi esetben 48 órára állítottam. A tenyésztést követően kifejlődött telepeket megszámláltam és a herbicid nélküli kontrollal összehasonlítottam, majd az eredményt annak százalékában ábrázoltam. (ANGERER, 2009).

3.3.4. A felhasznált táptalajok és szaporító közegek

A laboratóriumi és tenyészedényes kísérleteim során, a mikroorganizmusok fenntartására és szaporítására SZEGI (1979) „Talaj mikrobiológiai vizsgálati Módszerek” c. munkájában közölt táptalaj és tápoldat receptúrákat használtam. Az adatok 1 liter tápközeg előállításához vannak megadva, melyeket az összemérés után 20 percig 1 atm nyomáson autoklávban sterilizáltam. Abban az esetben, amikor szilárd agaron történő kitenyésztést is végeztem, ott a receptúra végén zárójelben tüntettem fel az összemérés során hozzáadott agar mennyiségét.

1. **Actinomyces agar** – *Actinomyces* nemzetség vizsgálatához: 2g $C_{47}H_{48}N_3O_7S_2Na$, 0,1g $C_4H_8N_2O_3$, 4g $C_3H_5NaO_2$, 0,5g K_2HPO_4 , 0,1 g $MgSO_4$, 0,01g $FeSO_4$, 17g agar.
2. **Gomba tápleves** (LAB033) – penészgombák számára: 30 g Sabouraud broth (+17g agar).
3. **King's B tápleves** (Biolab, KAB30500) – *Pseudomonas* nemzetség kimutatására: 23 g King's B broth (+17g agar)
4. **Kongóvörös agar** - *Rhizobium* nemzetség vizsgálatához: - 10g szacharóz, 0,5g K_2HPO_4 , 0,2g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1g NaCl, 1g $CaCO_3$, 1g élesztő kivonat, 10ml kongóvörös festék, 17g agar.
5. **Krómazurol (CAS) agar** – sziderofor termelő baktériumok izolálásához: **King's B** broth + 6,0 g $C_{23}H_{13}Cl_2Na_3O_9S$, 17 g agar
6. **Nutrient tápleves** – aerob és fakultatív anaerob baktériumok számára: 3g húskivonat, 5g pepton, 0,5g NaCl, 5 glükóz, (+17 g agar).
7. **RCM agar** (LAB023) – erotoleráns anaerob baktériumok kimutatása mikrotiter lemezen történt, folyékony táplevesben: 30,1 g RCM broth, (+20 µl paraffinolaj minden cső lefedésére).

3.4. Az adatok feldolgozása

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését IBM SPSS Statistics 20.0 programmal végeztem. 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.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. A bioszén környezeti kockázatának vizsgálati eredményei

A bioszén általánosan elterjedt kedvező tulajdonságai mellett vannak adatok a felhasználás környezeti kockázatára is. Ezek között meg kell említeni, hogy az előállítástól függően a bioszén aromás szennyezőanyagokkal, poliaromás szénhidrogénekkal, PAH vegyületekkel szennyeződhet, amelyekre szigorú határértékek érvényesek. A másik kockázat a Globális klímaváltozás hatásaival van összefüggésben, ami azt jelenti, hogy a talajeredetű potenciális kórokozók előfordulásának a kockázata is növekedhet, amihez a talaj bioszén tartalma még további támogatást adhat. Az erre vonatkozó vizsgálatok azonban meglehetősen ritkák, ezért ellenőriztük: 1) az általunk használt bioszén mintákban a PAH-19 vegyületekre vonatkozó mennyiségeket és 2) a talajokból izolált különböző tipikus mikroba-csoportok és törzsek összehasonlító érzékenységét egy, a talajokban gyakran alkalmazott peszticiddel szemben.

4.1.1. A bioszén PAH tartalmának értékelése

Az előkísérletek során 4 különböző bioszén terméket vizsgáltunk 19 féle Policiklikus Aromás Szénhidrogén (PAH-19) vegyület tartalomra és a minőségi összetétel alakulására (4. táblázat). Jogi szabályozásukban az egyes országok más-más kritériumokat támasztanak ezen termékekkel kapcsolatban. Az Európai Uniónak jelenleg nincs a bioszén termékek forgalomba hozatalához szükséges egységes követelményrendszere, ezért az ilyen anyagok forgalomba helyezése tagállami hatáskörben van. Magyarországon a terméknövelő anyagok felhasználásakor két jogszabályt kell figyelembe venni.

- A 36/2006. (V.18.)-as FVM rendeletet amely, a terméknövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról rendelkezik és kimondja, hogy a terméknövelő anyagok PAH tartalma nem haladhatja meg az 1 mg/kg-os koncentrációs határértéket a PAH-19-re vonatkoztatva.
- A 129/2007-es talajvédelmi törvény pedig leírja, hogy bármilyen talajjavító anyag talajba forgatása esetén figyelemmel kell lenni arra, hogy 1 g száraz talaj PAH-19 tartalma nem haladhatja meg a korábban már említett 1 mg/kg-os határértéket. Ez a törvény tehát a talajba juttatást követő hígulás utáni PAH mennyiségekre terjeszti ki az 1 mg/kg-os határértéket.

A 4. táblázat adatai alapján azt tapasztaltuk, hogy az összes általunk vizsgált bioszén PAH-19 tartalma többszörösen is meghaladta az 1 mg/kg-os határértéket. A legtöbb mennyiséget a boksaégetés utáni bioszén-mintákban, legkevesebbet pedig a ellenőrzött körülmények között,

magas hőmérsékleten előállított szeparált szarvasmarhatrágyából készült bioszén minták tartalmaztak (3,07 mg/kg).

4. táblázat. Különböző alapanyagból előállított 4 db bioszén minta PAH-19 összetevőinek alapadatai és összesített mennyiségei.

| | 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 |

A bioszén makro- mezo- és mikro-elem-tartalma szoros összefüggést mutat az előállításához felhasznált alapanyagok elemtartalmával. A gyártás során csökken a térfogat, ezáltal az egy tömegegységre jutó tápelemek koncentrációja megnő. A kísérletben használt bioszén kémhatása lúgos, szulfát tartalma igen magas. Az előállítási hő hatására az alapanyagban található nitrogénformák eldiffundálnak, így közvetlen N tartalommal a bioszén rendszerint nem rendelkezik (5. táblázat). A felvehető foszfor-pentoxid tartalom magas, míg kálium-oxid tartalma egy nagyságrenddel magasabb. Magnézium tartalma homoktalajokhoz viszonyítva közepes, nátrium tartalma megfelelő, a réz tartalma viszont nagyon magas (5. táblázat).

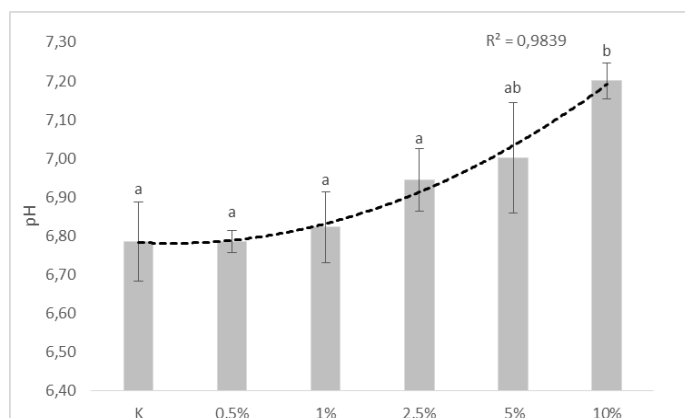
A bioszén-dózisok kijuttatásakor figyelembe vettük a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletet, mely szerint a réz mennyisége 1 kg talajra vonatkoztatva nem haladhatja meg a 75 mg/kg-os határértéket. A bioszén mangán tartalma kielégítő, míg cink tartalma jónak mondható. Összes vízzeloldható só tartalma csekély. A 2015-16-os szabadföldi és tenyészedény kísérletek során felhasznált bioszén tápelem ellátottságát az ötödik táblázat mutatja.

5. táblázat. A kísérletben használt, fabrikettből előállított bioszén néhány tulajdonsága és elemtartalma.

| | |
|---------------------------------------|-------|
| pH | 9,79 |
| Szulfát (mg/kg) | 445 |
| Mg (mg/kg) | 33,7 |
| Na (mg/kg) | 19,6 |
| P ₂ O ₅ (mg/kg) | 1210 |
| K ₂ O (mg/kg) | 10100 |
| Cu (mg/kg) | 1480 |
| Mn (mg/kg) | 10,6 |
| Zn (mg/kg) | 3,90 |
| Vízoldható összes só tartalom m/m% | <0,02 |

Az ötödik táblázatból kiderül, hogy a kísérlethez használt bioszén kémhatása vizes kivonást követően, 24 órás állás után 9,79-es értéket mutatott. Mivel a vizsgált talaj gyengén savas pH-val rendelkezik, ezért a talajbióta összetétele és a növényi tápanyagfelvétel szempontjából kritikus kérdés volt, hogy a beállított bioszén dózisok mekkora befolyással vannak a talaj kémhatására?

6. táblázat. Növekvő bioszén dózisek (%) hatása a talaj kémhatására tenyészedény kísérletben.



| Kezelés | Átlag | Szórás |
|-----------------|-------|--------|
| Kontroll | 6,79 | 0,10 |
| 0,5% | 6,79 | 0,03 |
| 1% | 6,82 | 0,09 |
| 2,5% | 6,95 | 0,08 |
| 5% | 7,00 | 0,14 |
| 10% | 7,20 | 0,05 |

A 6. táblázatból kiderül, hogy a 10 m/m%-os bioszén szignifikánsan növelte, megközelítőleg pH=0,4 értékkel a talaj kémhatását. Bár a csoportok páronkénti összevetése a kisebb bioszén dózisek esetében nem mutatott szignifikáns eltérést a kezeletlen kontrolltól, a 10 m/m%-os bioszén koncentráció azonban statisztikailag kimutatható, semleges irányba történő eltolódást eredményezett a kezelt talaj kémhatásában. Az eredményekből következik tehát, hogy a pH-emelő hatása miatt a bioszén eredményesen felhasználható savanyú talajok minőségének a javítására.

4.1.2. A talaj tipikus mikrobacsoportjai közötti környezeti érzékenység értékelése

A bioszénnek nem csak a talajok fizikai és kémiai tulajdonságaira lehetnek figyelembe veendő, talajfüggő káros mellékhatásai, de a talajbiológiai tulajdonságok változásaira is figyelmet kell fordítani. A globális klímaváltozás miatt fel kell készülni az úgynevezett talajeredetű potenciális kórokozó mikroorganizmusok terjedésére, kockázatának növekedésére. A korábbi vizsgálataink igazolták, hogy a bioszén porozitása és a nagyobb vízmegtartó képessége segíti a talajélőlények túlélését és aktivitását. Kérdésként merült fel ezért, hogy vajon van-e különbség a talajból származó hasznos mikroorganizmusok és a potenciális kórokozóként ismert mikrobák környezeti érzékenysége között? Hogy a kérdésre választ adjunk, ismert fiziológiai csoportok autentikus, azonosított baktériumait teszteltük. Ennek további oka volt az a tény, hogy egyre több szakirodalom foglalkozik a növényvédőszer-maradványok egységnyi területen történő felhalmozódásával bioszénrel kezelt talajokban. Jelenlétük és perzisztenciájuk, átalakulásuk (metabolizmusuk és degradációjuk) az élő szervezetekben különböző biológiai reakciót, egyúttal különböző mértékű környezetterhelést jelent. Kísérleteim során az egyes talajmikroba csoportok propoxikarbazon-nátriumot és tienkarbazon-metil hatóanyagokat tartalmazó növényvédőszerrel szembeni érzékenységét vizsgáltam 4 különböző, de a talajokban

jellegzetes mikrobacsoportok törzseinek az érzékenységére. Az így kapott eredményeket a 7. táblázat mutatja be.

Az *in-vitro* kísérletekben felhasznált acetolaktáz-szintetáz (ALS) gátló növényvédőszer maradványok hatására bekövetkezett változás a vizsgált mikroorganizmus törzsekre igen változatos képet mutat. Általánosságban elmondható, hogy a gyártók által előírt kijuttatandó dózis (0,01 mg/l), szignifikáns változást eredményezett a legtöbb mikroba csoport sejtszámában. Nem, vagy csak kismértékű szignifikáns csökkenés következett be ezzel szemben a gyökérhez kötött nitrogénkötő rizobaktériumok biomasszájában. Ez alól kivétel a *Sinorhizobium meliloti*, ahol az előírtnál 10-szer alacsonyabb herbicid dózis és szinte az összes növekvő dózisok is szignifikáns serkentést indukáltak. Pozitív változást találtam még a vizsgálatban felhasznált növénynövekedést serkentő (PGPR) talajbaktériumok fiziológiai csoportjának az élősejtszámában is. Ezek biomasszájára az összes dózis, még a javasolt adag 1000-szerese is serkentőleg hatott. A vizsgált mikrobacsoportok között a leginkább érzékeny törzsnek a *Xanthomonas campestris* B 01466 számú törzse bizonyult, mely a talajok potenciális kórokozói közé sorolható. A *X. campestris* élősejtszáma szinte mindegyik vizsgált dózisonál a harmadára csökkent és dózishatás nem jelentkezett.

7. táblázat. Autentikus (típusos) mikroorganizmus törzsek SCT* hatóanyagcsoportba tartozó herbicid növekvő dózisaival szembeni érzékenysége a kontroll százalékában

| Mikroorganizmusok*** | Herbicid koncentrációk (mg/l) | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|
| | 0,001 | 0,01 ⁺ | 0,1 | 1 | 10 |
| Nitrogénkötők | | | | | |
| <i>Azotobacter salinestris</i> | 100,57 | 103,40 | 87,25* | 97,73* | 94,33* |
| <i>Microvirga lupini</i> | 98,57 | 90,24 | 80* | 84,05* | 82,86* |
| <i>Rhizobium leguminosarum</i> | 96,63 | 95,51 | 96,18 | 89,44* | 57,98* |
| <i>Sinorhizobium meliloti</i> | 143,33* | 147,80* | 130,92* | 120,66* | 111,90* |
| <i>Rhizobium trifolii</i> | 86,82* | 88,64* | 75,68* | 66,14* | 52,95* |
| Növénynövekedés-serkentők | | | | | |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> | 121,34* | 121,78* | 124,15* | 120,09* | 118,26* |
| <i>Pseudomonas alcaligenes</i> ATCC 14909 | 138,54* | 135,10* | 134,06* | 132,50* | 133,02* |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> ATCC 17826 | 156,10* | 157,32* | 151,22* | 151,83* | 139,03* |
| <i>Pseudomonas putida</i> ATCC 11172 | 134,47* | 136,01* | 127,54* | 131,92* | 130,67* |
| Endospóras baktériumok | | | | | |
| <i>Bacillus mycoides</i> ATCC 6462 | 104,69* | 108,54* | 98,80 | 103,08* | 103,20* |
| <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6051 | 87,88* | 86,97* | 75,76* | 75,76* | 83,94* |
| <i>Streptomyces griseolus</i> ATCC 11796 | 143,32* | 147,80* | 130,92* | 120,66* | 111,90* |
| <i>Streptomyces griseus</i> ATCC 21465 | 139,56* | 128,57* | 81,98* | 74,73* | 29,32* |
| Potenciális humán- és növény-patógen baktériumok | | | | | |
| <i>Agrobacterium tumefaciens</i> | 111,11 | 90,28* | 80* | 82,77* | 60* |
| <i>Bacillus cereus</i> ATCC 9634 | 100,20 | 99,97 | 102,04 | 101,46 | 97,33* |
| <i>Pectobacterium carotovorum</i> B.01716 | 99,19 | 98,87 | 93,23* | 91,94* | 92,74* |
| <i>Escherichia coli</i> ATCC 8724 | 97,59 | 94,63* | 88,33* | 87,41* | 92,04* |
| <i>Micrococcus luteus</i> | 92,44* | 120,44* | 83,11* | 88,89* | 66,67* |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 10145 | 105,41* | 79,83* | 88,48* | 83,51* | 81,39* |
| <i>Xanthomonas campestris</i> B.01466 | 34,32* | 32,84* | 30,81* | 30,14* | 27,70* |

*p<0,05 (kétoldali próba); ** SCT = szulfonilamino-karbonil-metil-triazolinon; *** Törzsek kódszáma, ahol van, ⁺a herbicid gyakorlatban javasolt dózisa.

A talajban kötött állapotban megtalálható, Fe^{3+} -ot hasznosító kelátképző mikroorganizmusok antagonista hatásúak a potencióális kórokozó mikrobákra, így alkalmasak biokontroll szervezetként történő felhasználásra (BENEDUZI et al., 2012). Az endospórák képző baktériumok csoportja igen sokrétű szerepet töltenek be a talajban. A vizsgálatban használt *Bacillus mycoides* a szakirodalomban ismert nitrifikáló (KIM, 2005), míg a legtöbb helyen előforduló *Bacillus subtilis* polimereket, például fehérjét, keményítőt és pektin lebontását végzik, így fontos szerepet játszanak a szén- és nitrogén ciklusok alakulásában (SONENSHEIN et al., 1993). Ezzel szemben *Streptomyces griseolus* és *-griseus* esetében, komplex gombaellenes metabolitok és egyéb bioaktív vegyület szintézisét írták le (JAMES et al., 1986; OCHI, 1987). A vizsgálat során már a legkisebb herbicid koncentrációk is szignifikáns változást eredményeztek e csoport sejtszámának alakulásában. A *Bacillus subtilis* sejtszámában minden adagon, *Streptomyces griseus* esetén a 0,001 mg/l-nál magasabb koncentrációkon csökkenés állt be a kitenyészhető sejtszámában, ugyanakkor a *Streptomyces griseolus* vizsgálatokor a sejtszám növekedés mértéke átlagosan 30%-os volt a kezeletlen kontroll tenyészetekhez viszonyítva.

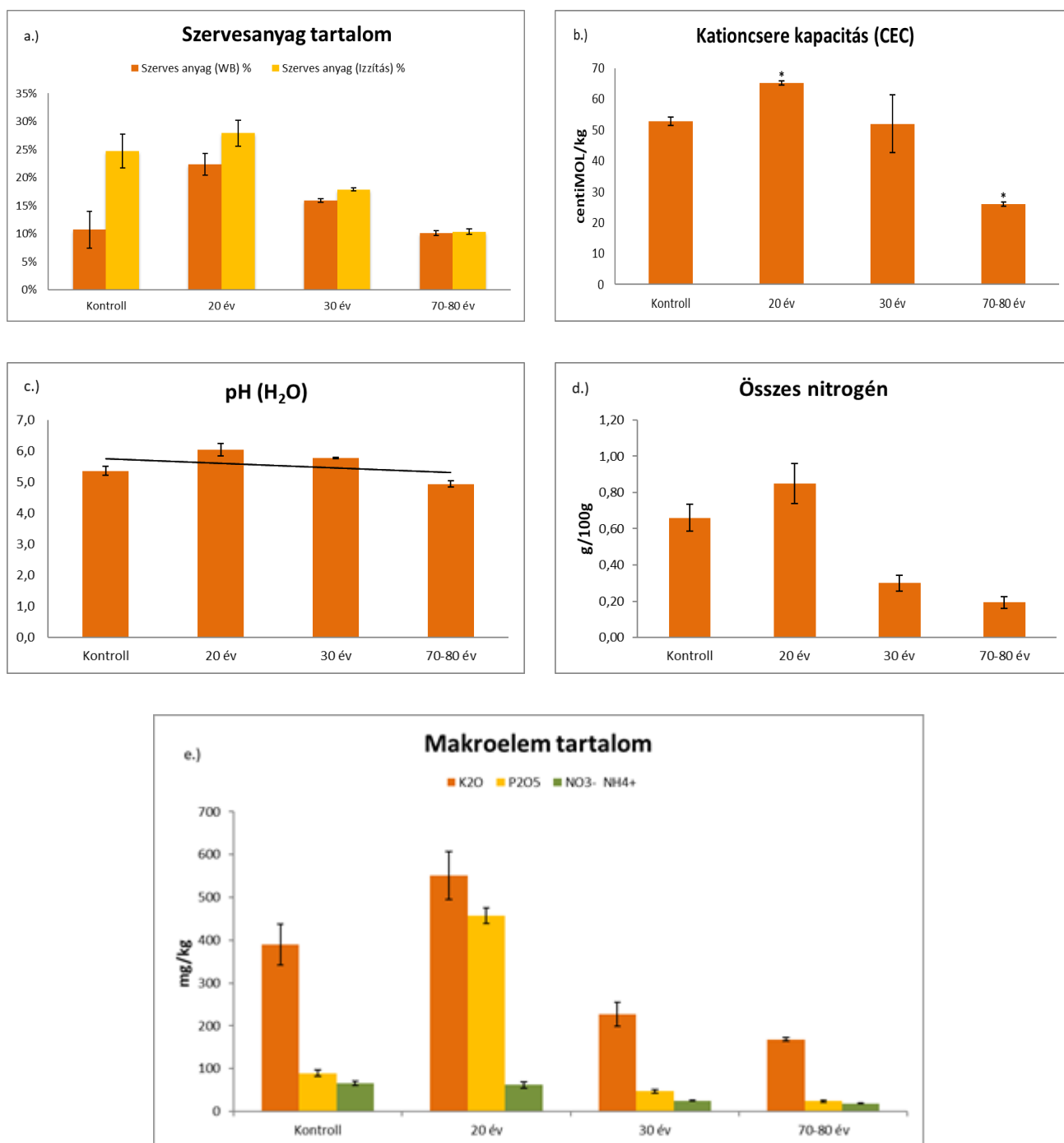
A talajbióta összetételének vizsgálatokor figyelembe kell venni a talajeredetű, vagy szennyvizekből talajba került és azon keresztül enterális megbetegedést, zoonozist illetve növényen keresztül toxikozist okozó patogén mikroorganizmusokat is. Az általam vizsgált potenciálisan patogén baktériumok közül a *Bacillus cereus*-ra nem volt érdemi hatással a propoxikarbazon-nátriumot és tienkarbazon-metil hatóanyagokat tartalmazó növényvédő szerek különböző koncentrációi. A javasolt kijuttatandó dózisonál 10x magasabb koncentráció szignifikáns csökkenést eredményezett az *Erwinia carotovora*, növények lágyrothadását okozó, pektinbontó tulajdonsággal rendelkező, polifág (DONG, 2000) faj kitenyészhető sejtszámára, míg a fekális coliform *Escherichia coli* biomassza tömegét a javasolt (0,01 mg/l) adag is szignifikánsan csökkentette. A *Pseudomonas aeruginosa* baktériumfaj a kettős megítélés tipikus példája, hogy klinikai viszonylatban az egyik legjelentősebb fakultatív patogén kórokozó, mely a súlyos kimenetellel járó nozokomiális infekciók jelentős hányadéért felelős. Környezeti vonatkozásait tekintve azonban humán-egészségügyi kockázatát jellemző módon alábecsülik, és számos esetben igyekeznek törzseit a környezetvédelmi, talaj remediációs eljárásokba bevonni (KASZAB, 2010). Vizsgálataim alapján a növényvédőszer adagok szignifikáns változást eredményeztek a vizsgált PGPR törzsek kinetikájában. Míg 0,001 mg/l-en a növényvédőszer hatása enyhén serkentőleg hatott, addig a gyakorlatban is javasolt (0,01 mg/l) dózis és annak növelése negatív lineáris kapcsolatban állt a vizsgált törzs kitenyészhető sejtszámával. Ezzel szemben a bab baktériumos paszulyveszélyét okozó *Xanthomonas campestris* (HORVÁTH, 1995), már az általam beállított legkisebb (0,001 mg/l) SCT hatóanyagra is érzékenyen reagált. A vizsgált növénypatogén sejtszáma 65%-al csökkent, ami a herbicid adagok növelésével tovább

folytatódott. A vizsgálatokból megállapítható tehát, hogy az egyes mikrobacsoportok közül a hasznos PGPR csoport tagjaira a tesztelt növényvédőszer nem volt szignifikáns hatással, illetve még kiemelkedő serkentő hatással is volt azok szaporodására. A talajeredetű potenciális patogének ezzel szemben érzékenyebbeknek bizonyultak, de a herbicidekkel szembeni érzékenység nem különbözött lényegesen az endospóras baktériumoktól. A nitrogén-kötő rhizobiumok a vizsgált 4 mikrobacsoport közül pedig a legérzékenyebbeknek adódtak. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a környezeti tényezők megváltoztathatják a növénynövekedésre hasznosnak és károsnak ítélt mikroba-csoportok összetételét.

A talaj bioszén kezelésekor, így felmerül a kérdés, hogy a bioszén szakirodalomban leírt talajbiótára kifejtett pozitív hatásai (GOMEZ-EYLES et al., 2013; THIES et al., 2015) nem minden esetben érvényesülnek és a mikrobák fiziológiai csoportjainak az összetételét az egyéni érzékenységi mintázat miatt is képesek megváltoztatni.

4.2. A bioszén hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira

A különböző korú (20, 30 és 70-80 éves) boksa-szén hatásait az általunk vizsgált helyszínen a 12. ábra, a 8. és a 9. táblázatok mutatják be.



12. ábra. Különböző korú boksa-szén hatása a talaj vizsgált tulajdonságaira agyagbemosódásos barna erdőtalajon (Luvisol): a) Szerves anyag tartalom, b) Kation csere kapacitás, c) Kémhatás, d) Összes nitrogén, e) Makroelem tartalom alakulása.

Boksa égetés helyszínén vett talajminták vizsgálata során a szerves-anyag vizsgálatok a talaj összes szerves-anyag tartalom (izzítási veszteség) és a szerves széntartalom (WB) közötti korrelációra hívták fel a figyelmet. A kontroll-, a 20- és a 30 éves minták esetében a szervesanyag-tartalom és a szerves C aránya között szignifikáns különbséget állapítottunk meg. Ebből arra következtetünk, hogy a vizsgálati helyszín adott körülményei között 30 évig a szerves C aránya növekszik az egyéb szerves összetevőkhöz képest, azonban a 70-80 éves mintáknál már nem mértünk szignifikáns különbséget a minták szerves C és az összes szervesanyag-tartalma között (12/a. ábra). A szerves-anyag változása a talajban a természetes módon végbemenő mikrobiológiai folyamatokkal magyarázható (BENI et al., 2014; FEKETE et al., 2015). Ezáltal a humuszt alkotó vegyületek (fulvosav, himatomelánsav, szürke és barna huminsav) egymásba való átalakulása (humifikációja) hosszú távú, akár évtizedes folyamat is lehet (VERES et al., 2015), ugyanakkor az egyéb szerves összetevők (szerves N formák, szerves P formák) átalakulása sokkal rövidebb idő alatt megy végbe. A bioszén hatására megnőtt a talaj adszorpciós kapacitása (12/b. ábra). Negatív töltése következtében, fokozódott a kation megkötő képessége, így javult a talaj tápanyagmegtartó és vízmegtartó tulajdonsága. A talajoknak ezek a tulajdonságai kertészeti és mezőgazdasági szempontból kulcsfontosságúnak tekinthetők. Hasonló eredményre jutottak VERHEIJEN et al. (2010), amikor különböző kertészeti kultúrák talajait vizsgálták. Hasonlóan LIN et al. (2012) korábbi eredményeihez, vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a bioszén a talaj pH-ját huszonöt éves időtávon semleges, azaz egy kedvezőbb irányba tolta el, ugyanakkor az adszorpciós felület idővel telítődik és ennek hatására a talaj fokozatosan visszaállt az eredeti állapotába, vagy ahhoz viszonyítva is kedvezőtlenül alakul a kémhatás (12/c. ábra). Ahogy arra már többször is utaltunk, a pirolízis hatására a bioszén alapanyagának N tartalma eldiffundál (DEMEYER et al., 2001). A 20 éve boksával fedett talajmintáknál ugyanakkor magasabb N mennyiségeket mértünk (12/d. ábra), ami a bioszén hosszútávú megkötő, adszorpciós képességének köszönhető (12/b. ábra). A bioszén képes a megkötött tápanyagok felhalmozására, így azok folyamatos leadása által a növények számára felvehető tápanyag-formák felszabadulhatnak. Javítva ezáltal a talaj tápelem (pl. nitrogén) hozzáférhetőségét. Megállapítottuk, hogy a bioszén 20 éves hatóidőt követően megkötö a talaj felvehető makroelem tartalmának egy részét (12/e. ábra) ennek oka, hogy módosítja a kationcsere-kapacitást a talajban (12/b. ábra). Több szerző szerint a bioszén már önmagában, a magas foszfor és kálium tartalma miatt képes javítani ezeknek a tápelemeknek az ellátottságát a talajban (LEHMANN et al., 2003a; VAN ZWIETEN et al., 2010). További hatás, hogy a bioszén adszorbeálja a talajból kioldódó, vízben oldhatóvá vált kationokat. Így azok kimosódása csökken és nem kell számottevő tápanyag-veszteséggel számolni. Ez a folyamat azonban erősen pH-függő, amely paramétert a bioszén szintén befolyásolja (12/c. ábra). Vizsgálataink alapján, hús

év után a bioszénnek a talajban történő degradációja következtében a megkötött ásványi tápelemek folyamatosan felszabadulnak, ezáltal egy lassú, de fokozatos tápanyag utánpótlást képes biztosítani a termesztett növénykultúráknak.

A Pearson-féle korreláció-analízissel erős összefüggést állapítottunk meg a felvehető tápelemek (NPK) és a talaj bioszén által módosított kation csere kapacitása között (8. táblázat), valamint az összes nitrogén, a szerves anyag tartalom (izzítás) és a szervesetlen nitrogén tartalom között (9. táblázat). Ezek az összefüggések minden esetben szignifikánsak. A táblázatban a feltüntetett eredmények szignifikancia szintje $p < 0,05$ és $p < 0,01$ volt.

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

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

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

| | Összes nitrogén | Szerves anyag tartalom (Izzítás) | Szervesetlen nitrogén |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|
| Összes nitrogén | 1 | | |
| Szerves anyag tartalom (Izzítás) | 0,866** | 1 | |
| Szervesetlen nitrogén | 0,833** | 0,845** | 1 |

** $p < 0,01$ (kétoldali próba)

* $p < 0,05$ (kétoldali próba)

Az általunk vizsgált területek monitoringjából kiderül, hogy a bioszén több évtizedig képes folyamatosan megkötni a talaj szervesetlen tápanyagait és szerves összetevőit, ezáltal folyamatos utánpótlást képes biztosítani a termesztett növénykultúrák számára. Méréseink alapján a 20 és 30 év közötti időintervallumban elkezdődött a bioszén szerkezeti degradációja, ami a 30 éves talajmintákban már egyértelműen megfigyelhető volt. Ezzel összefüggésben a bioszénhez kötött tápanyagok veszteségei is bekövetkezhetnek, amihez további talaj-tulajdonságok romlása is kapcsolódhat. 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 javítani, amit annak alkalmazásánál figyelembe kell venni.

4.3. A bioszén növekvő dózisainak hatása a növényi tápelem-felvétel alakulására

A 2015-16-os szabadföldi és tenyészedény kísérletek talajának tápelem ellátottságát, a kísérletek indításakor a tizedik táblázat mutatja.

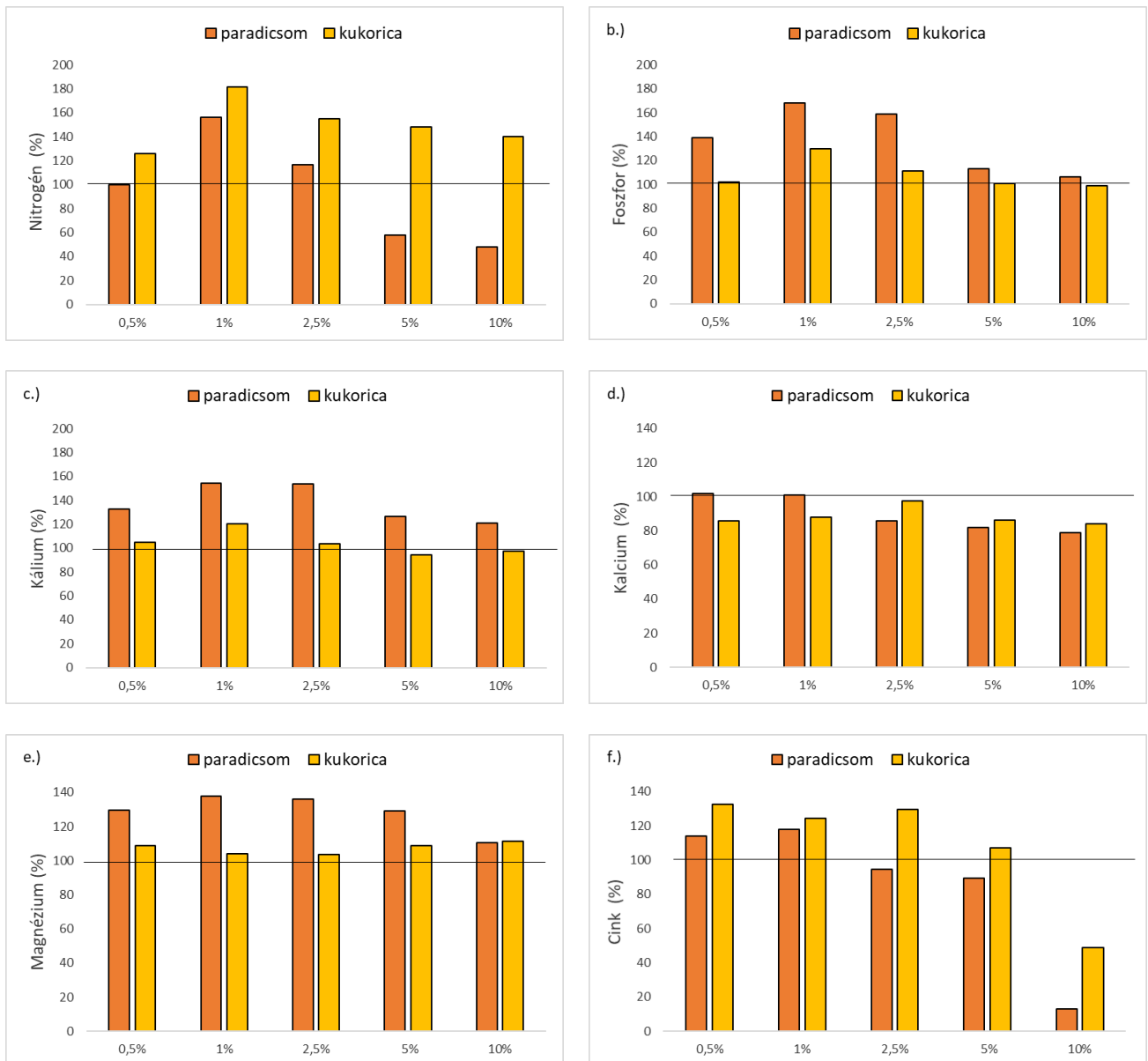
10. táblázat. A kísérlet során felhasznált talaj fizikai-kémiai tulajdonságai

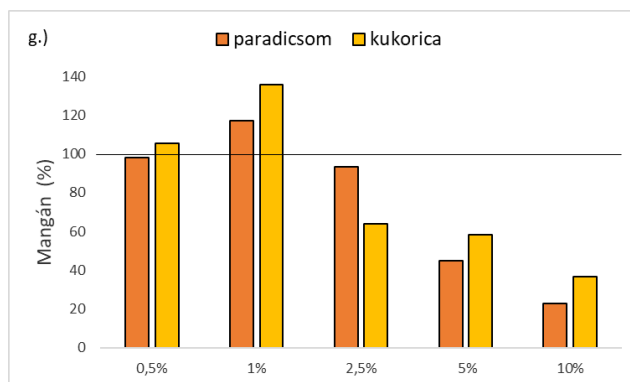
| Talajvizsgálati paraméterek | 2015 | 2016 |
|---------------------------------------|-------|-------|
| pH | 6,79 | 6,85 |
| Szulfát (mg/kg) | 70 | 60 |
| Mg (mg/kg) | 81,3 | 20 |
| Nitrát-N (mg/kg) | 10,1 | 4,4 |
| Nitrit-N (mg/kg) | 0,16 | 0,16 |
| Na (mg/kg) | 77,7 | 63 |
| P ₂ O ₅ (mg/kg) | 357 | 350 |
| K ₂ O (mg/kg) | 215 | 247 |
| Cu (mg/kg) | 2,38 | 2,33 |
| Mn (mg/kg) | 98,3 | 92 |
| Zn (mg/kg) | 2,91 | 2,72 |
| CaCO ₃ m/m % | 0,67 | 2,2 |
| Humusz m/m% | 1,6 | 1,4 |
| Arany féle kötöttség | 30 | 28 |
| Vízoldható össze sótartalom m/m% | <0,02 | <0,02 |

A vizsgálati helyszín és a tápelem mérések alapján a kísérlet talaja a IV. termőhelyi kategóriába sorolható. Fizikai talajfélesége (K_A) szerint finom homok, míg humusz-tartalma alapján humuszos homok. Kémhatása gyengén lúgos, gyengén meszes, szulfát tartalma magas. Humuszos réteg vastagsága kb. 20-50 cm között mozog. A humuszos szint gyakran élesen elválk a C szinttől, vagyis gyakorlatilag A és C szintje van, amelyre a talajvíz kevéssé van hatással (>4 m). A 10,1 mg/kg-os nitrát tartalom arra utal, hogy a tápelemek kimosódása lassan megy vége. Foszfor-pentoxid és kálium-oxid ellátottsága ebbe a termőhelyi kategóriába tartozó talajokhoz képest igen jó. Réz, cink és mangán tartalma nagy, magnézium ellátottsága közepes. Összes vízoldható sótartalma csekély. Az első évhez viszonyítva 2016-ban a mésztartalom egy nagyságrenddel nagyobb, ugyanakkor továbbra is mészhiányos a terület és a szulfát tartalom továbbra is magas. A talaj nitrát tartalma a második évre csökkent, ami a kimosódás

felgyorsulására utal. Foszfor-pentoxid ellátottsága a két évben-érdemben nem változott, míg a kálium-oxid mennyisége a második évre enyhén megnőtt. Réz, cink és mangán tartalma nem, míg a magnézium mennyisége jelentősen csökkent, így az csekélynek mondható. BUZÁS (1983) szerint ez következménye lehet a talaj meszesedésének, amit ebben az esetben a bioszén váltott ki és pH lúgos irányba történő eltolódását eredményezte. Az összes vízoldható sótartalom csekély (10. táblázat).

Tenyészedény kísérletben megvizsgáltuk a növekvő bioszén dózisok hatását a paradicsom és a kukorica növények tápelem-felvételére (13. ábra).





13. ábra. Növekvő bioszén dózisok hatása a növény: a) nitrogén, b) foszfor, c) kálium, d) kalcium, e) magnézium, f) cink, g) mangán felvételének alakulására a kontroll százalékában.

A talajból felvett tápelemek mennyiségét, a talaj kémhatása és az egyes elem-antagonizmusokon keresztül célszerű vizsgálni, ugyanis amennyiben csupán egy-egy tápelem vizsgálatára szorítkozunk, a növényelemzés eredménye félrevezető lehet. Mivel a növény az esszenciális elemeket meghatározott arányban, ill. egyensúlyban igényli a fotoszintézis során, egyik elem hiánya kiválthatja más elemek aktívabb felvételét (pótlási szükséglet) (SÁRDI, 2011). A Liebig-féle minimum törvény (1840) szerint egy olyan több szempontból is nyitott, összetett és élő rendszer vizsgálata során, mint amilyen a talaj, valóban szükséges figyelembe venni azokat a természeti törvényszerűségeket, amelyek szerint minden tápelemnek optimális mértékben kell a növény rendelkezésére állnia ahhoz, hogy az optimálisan tudjon fejlődni. Hiába jut hozzá a növény az összes tápelemhez, ha valamiből hiányt szenved végül el is pusztulhat. Ezen a gondolaton tovább lépve az ökológiai faktorok hatástörvénye (THIENEMANN, 1950) szerint egy életközösség összetételét a legkedvezőtlenebb környezeti tényező fogja meghatározni.

A kukorica növények nitrogén felvételét, a bioszén minden dózisa fokozta. A paradicsom növényeknél az 1 m/m %-os koncentráció okozta a legnagyobb (60%-os) növekedést, további (16%) javulás volt tapasztalható a 2,5 m/m %-os dózis esetében is, míg a legkisebb (0,5%) dózis nem okozott érdemi változást a kontroll növényekhez viszonyítva. A két vizsgált növény értékeit összehasonlítva pozitív korreláció állt fent a bioszén dózisoknak a növények nitrogén felvételére gyakorolt hatásai között. Mind a két növénynél 1%-on tetőzött ez az érték. A kukoricával ellentétben a paradicsom vizsgálata során az 5- és 10%-os bioszén dózisok csökkentették a növények felvett nitrogén tartalmát (13/a. ábra). Ez az eredmény ellentmond ZHANG és társai (2004) munkájának, akik a bioszén alkalmazás minden esetben kedvező hatásáról írnak, melyet a kationok és anionok adszorpciós képességének megnövekedésével magyarázták a bioszén porózus felületén. Vizsgálataim alapján ez az állítás nem teljesen igaz és valószínűleg a két növény eltérő gyökér extraktumai befolyásolják a bioszén kezelés hatásosságát.

A foszfor a nukleinsavak (DNS, RNS) egyik összetevője és létfontosságú a növények energiáttranszfer folyamataiban is. DUDÁS és társai (2017) szerint emiatt közvetlen hatása van a terméshozam mennyiségére és minőségére, így a foszforellátás kulcsfontosságú kérdés a paradicsom termelés optimalizálásához. A kísérlet során arra az eredményre jutottunk, hogy az 1 m/m%-os bioszén dózis a paradicsom foszfor tartalmát 68-, míg a kukorica foszfor tartalmát 30 %-kal növelte a kontrollhoz viszonyítva. Eltérés mutatkozott azonban a bioszén hatásossága között a két növény tekintetében. Bár a 2,5 m/m%-os dózis 11%-os növekedést eredményezett kontrollált, tenyészedenyes körülmények között, a kukorica foszfortartalma érdemben nem változott (13/b. ábra). A kukorica kísérleti eredmények Pearson-féle egy- illetve két-faktoros korreláció-vizsgálata során pozitív lineáris (>95%) összefüggést találtunk a növények nitrogén- és foszfortartalma között, ugyanakkor ilyen kapcsolatot a káliumra nem tudtunk igazolni. Hasonló eredményre jutottak MUHAMMAD és társai (2017), akik két-éves szabadföldi kísérletben igazolták kukoricán és őszi búzán a megnövekedett nitrogén és foszfor felvételt 10 t/ha (~1 m/m%) bioszén kezelés hatására. A kísérletük során azonban az egyes években nem, csupán a két év terméseredményinek átlagában találtak szignifikáns különbséget, a kezeletlen kontroll és a bioszén kezelés között.

A kísérlethez használt bioszén összes kálium tartalma 10100 mg/kg volt (5. táblázat). Ily módon a növények kálium felvételét a bioszén nem csak közvetett módon (CEC), de közvetlenül is képes volt befolyásolni. Minden általunk beállított bioszén dózis növelte a paradicsom növények kálium tartalmát. A legmagasabb értékeket az 1- és 2,5 m/m% bioszén dózisoknál kaptunk (54-53%-os növekedést) a kontroll mintákhoz viszonyítva. Kukorica kísérletben a kontroll értékhez viszonyítva jól detektálható növekedést csak az 1 m/m%-os bioszén kezelés okozott. A magasabb 5-10 m/m%-os dózisoknál gátlás volt megfigyelhető (-5,-3% értékben). A paradicsom vizsgálata során erős (>95%-os szintű) szignifikáns korreláció állt fent a növények kálium és nitrogéntartalma, míg erős (<99%-os szintű) szignifikáns korreláció a kálium és a foszfortartalom között. Eredményeim egybevágnak MUNOO és társai (2017) munkájával, akik arra a következtetésre jutottak, hogy a magas (10-50 m/m%) bioszén dózisok csökkentik a talajból extrahálható nitrogén (beleértve a NO₃-N-t is) és a foszfor-formák felvehetőségét. Ugyanakkor a lúgos irányba eltolódó pH-ról és a növekvő bioszén dózissal arányosan emelkedő kálium tartalomról számolnak be. Korábbi vizsgálatainkból (6. táblázat) kiderül, hogy ugyan a talaj kémhatásának lúgos irányba történő eltolódása több évtizedig is kitarthat, ugyanakkor a bioszén szerkezetének degradációjával, az eredeti pH-nál savasabb irányú eltolódás is előfordulhat. Ellenőrzött tenyészedenyes kísérletben, még a bioszén nagy kálium tartalma ellenére sem tapasztaltunk, a növényvizsgálatok során a növekvő bioszén dózissal arányos kálium növekedést (13/c. ábra).

A tenyészedényes bioszén dózis kísérletek, nem eredményeztek pozitív hatást a növények kalcium felvételében. A kukorica kísérletben megállapítottuk, hogy minden egyes bioszén dózis csökkentette a növények kalcium felvételét, míg a paradicsomoknál 0,5-2,5 m/m% közötti dózisok nem, az 5- és 10 m/m%-os dózisok viszont már gátló hatást eredményeztek (13/d. ábra). BARBER és OLSON (1968) szerint a kalcium, magnézium, bór, molibdén felvételében elsősorban a tömegáramlás a meghatározó, így nitrogénhez hasonlóan mozgékony tápelemnek minősül a kalcium, magnézium és a nátrium is. A kísérlet során 60%-os vízkapacitásra törekedtünk, így az előző állítás alapján fokozott kalcium felvételt kellett volna tapasztalnunk. Bár a paradicsom kísérlet eredményei összefüggést mutatnak a kémhatás emelkedésével, ez a kukorica kísérletben nem áll fent, így nem általánosítható az az elv, miszerint a talaj pH érték ilyen mértékű emelkedése befolyással van a növények kalcium felvételére. Hasonló eredményre jutott TAIZ és ZEIGER (2010), akik részletesen vizsgálták a talaj kémhatásának a növényi tápanyagfelvételre gyakorolt hatásait. Arra a következtetésre jutottak, hogy a pH lúgos irányba történő eltolódása miatt bekövetkező tápanyghiány a foszfor, magnézium, mangán, bór, réz és cink tápelemek felvételének akadályozásából fakad.

A magnézium eredményeinek kiértékelése során azt tapasztaltuk, hogy az általunk beállított bioszén dózisok mindegyike serkentő hatással van a teszt növények magnézium felvételére. Kukorica kísérletben 3-11%-kal magasabb magnézium-mennyiséget mértünk, míg a paradicsom kísérletben ez az érték 10-30 % között alakult (13/e. ábra). A 10 m/m%-os bioszén dózis mérhető csökkenést eredményezett a Mg felvételében, a kisebb bioszén dózisokhoz viszonyítva. SÁRDI (2011) szerint a nagyon nedves viszonyok olyan mértékben növelhetik a kálium felvételét, hogy a magnézium hiánya is felléphet egyes talajokon, amennyiben a kálium készlet nagy a talajban. Korábbi vizsgálatunkból kiderült (5. táblázat), hogy a bioszén nagy K_2O tartálékkal bír, ugyanakkor nem tudtam kimutatni tendenciabeli eltérést a két tápelem felvétele között. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy a hidratált talajállapot ellenére nem állt fenn antagonizmus a mérsékelt mozgékony kálium és a mobilis magnézium növények általi felvételében, amely elsősorban a talaj szegényes tápanyag szolgáltató képességének tulajdonítható.

Eredményeink egybevágóak FÜLEKY és SÁRDI (2014) állításával, mely szerint a foszforhoz hasonlóan a mangán és a cink felvételében egyaránt az oldhatósági körülmények dominálnak. A cink felvételére a kukorica növényeknél, a 0,5-2,5 m/m%-os dózisok pozitív hatást gyakoroltak, amelyhez képest az 5%-os dózis még mindig emelkedést (+7%) mutatott a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva, ugyanakkor a 10 tömegszázalékos bioszén dózis már kedvezőtlenül befolyásolta a felvételt (-52%-kal). Ezzel szemben a paradicsom vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy már a 2,5%-os bioszén dózis visszavette (-6%-kal) a cink ionok felvételét

a talajból, míg a legmagasabb dózison a csökkenés mértéke 87%-os volt (13/f. ábra). Vizsgálataink alapján a mangán felvételének optimuma 1 m/m%-on (paradicsom +17%, kukorica +36%) volt. A paradicsom mangánion felvételére az 5- és 10 m/m%-os dózisok kedvezőtlen (-65%, -88%) hatást gyakoroltak. Ugyancsak kedvezőtlen tendencia figyelhető meg a kukorica kísérletben, ahol a 2,5- (-37%), 5- (-62%) és 10 (-63%) m/m%-os bioszén adagok negatívan befolyásolták a mangán ionok felvételét (13/g. ábra).

4.3.1. Azonosságok a két növény között különböző bioszén-adagok hatására

A kukoricára és paradicsomra egyaránt elmondható, hogy magas tápanyag igényű növények a nitrogén, foszfor, kálium, kalcium és magnézium tekintetében. A növények a 6,5 – 7,5 pH értékű talajokat egyaránt kedvelik (GYÖRI és MILE, 2002; HELYES, 2000). A tenyészedény-kísérletben végzett vizsgálatok során megállapítottam, hogy egyik bioszén dózis sem okozott akkora mértékű pH elváltozást a talajban, ami gátolta volna a növények tápanyagfelvételét (6. táblázat). A nitrogén, foszfor, kálium mennyisége a növényekben, mind a két esetben 1 m/m%-os bioszén dózison volt a legmagasabb (13/a, b és c. ábrák). A kalcium mezelemnél nem, míg a magnéziumnál pozitív hatást tapasztaltam minden bioszén dózisonál (13/d és e. ábrák). Az egyes kezelések növények tápanyagfelvételére gyakorolt hatását Pearson (one-tailed) korrelációs együtthatóval vizsgálva, szignifikáns (>95%) lineáris kapcsolatot találtam a két növény magnézium és mangán, valamint erős szignifikáns (>99%) lineáris kapcsolatot a két növény cink felvétele között, a bioszén dózisok hatására.

4.3.2. Eltérések a két növény között bioszén dózisok hatására

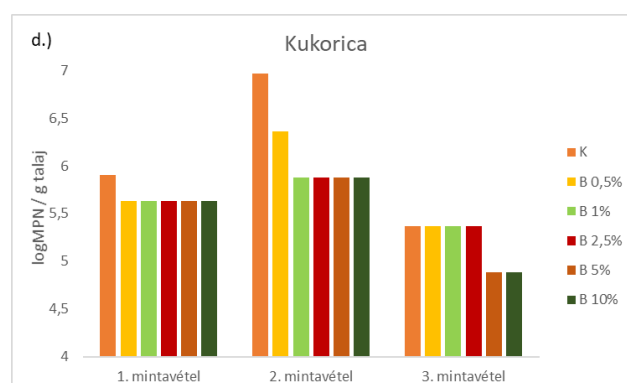
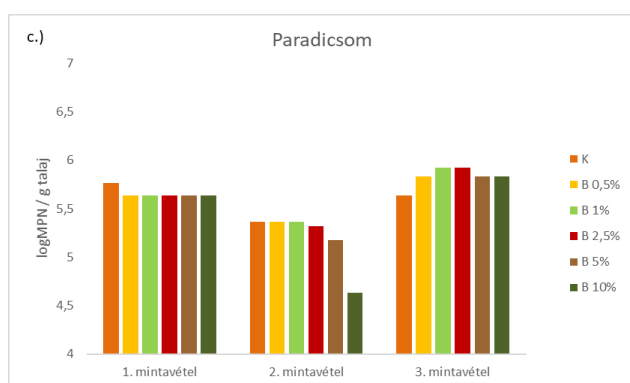
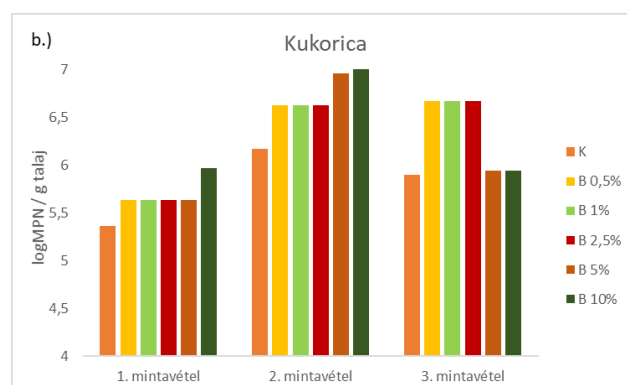
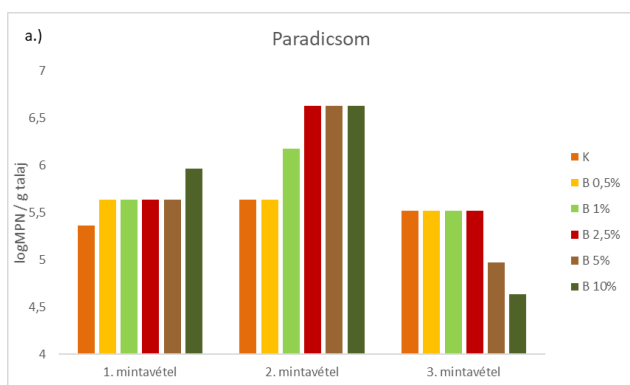
A tápanyagigényben és a talaj kémhatásának tolerálásában meglévő hasonlóságok ellenére a paradicsom és kukorica növények termesztő közeggel szembeni érzékenysége nagyban különbözik. A paradicsom sokféle talajon termesztethető. Általánosságban elmondható, hogy termőterülete homoktalajtól a barna erdőtalajokig mindenhol előfordul, ugyanakkor legkedvezőbbek számára a szerves és tápanyagokkal jól ellátott meszes vályogtalajok (BALÁZSY, 1994). Ezzel szemben a kukorica a talajjal szemben igényes, a gabonák között a legigényesebb növény. A közép-kötött, mély termőrétegű, jó víz- és hőgazdálkodású, jó tápanyagszolgáltató-képességű talajokat kedveli. Termesztésére kiválóan alkalmasak a csernozjom, réti csernozjom, a barna erdőtalajok, csernozjom barna erdőtalajok. A jobb minőségű humuszos homoktalajokon, jó vízgazdálkodású barna erdőtalajokon is legfeljebb közepes termésre képes (GYÖRI és MILE, 2002). A tenyészedény kísérlet növényi tápanyagfelvétel vizsgálatakor, eltérést tapasztaltam a két faj tápanyagfelvételének dinamikájában, a nitrogén és a kalcium vizsgálata során. Míg a nagyobb (5-, 10 m/m%) bioszén adagok negatívan hatottak (-43%, -52%-kal) a paradicsom

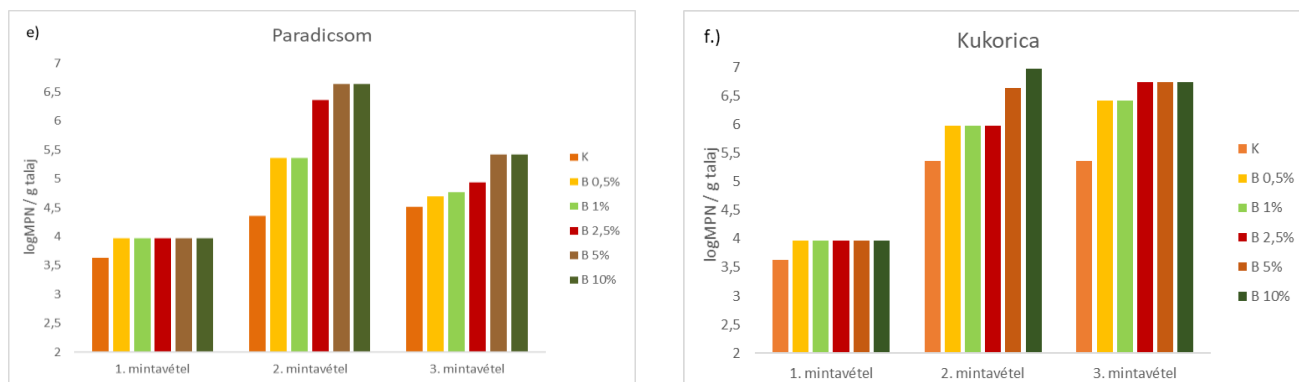
növények talajból felvehető N felvételére, addig kukoricán pozitív hatás (+48%, +40%) érvényesült (13/a. ábra). A növényekből feltárt kalcium vizsgálata során arra az eredményre jutottam, hogy a talajhoz hozzáadott minden bioszén dózis negatívan hatott a kukorica kalcium-ion felvételére, míg paradicsomnál negatív hatást, csak az 5- és 10 m/m%-os (-14%, -16%) dózistól figyeltem meg (13/d. ábra).

4.4. A bioszén dózisfüggő hatása a talaj biológiai tulajdonságaira

4.4.1. A növekvő bioszén adagok hatása tenyészedény kísérletekben

A növekvő bioszén dózisok hatását vizsgáltuk a talajbióta élősejtszámának és enzimaktivitásának az alakulására, aminek eredményeit a 14. és 15. ábrák mutatják mind a paradicsom, és kukorica növénykísérletben. Az ábrák a tenyészedényes kísérlet eredményeit mutatják, a növekvő bioszén dózisok függvényében mindhárom mintavételre.





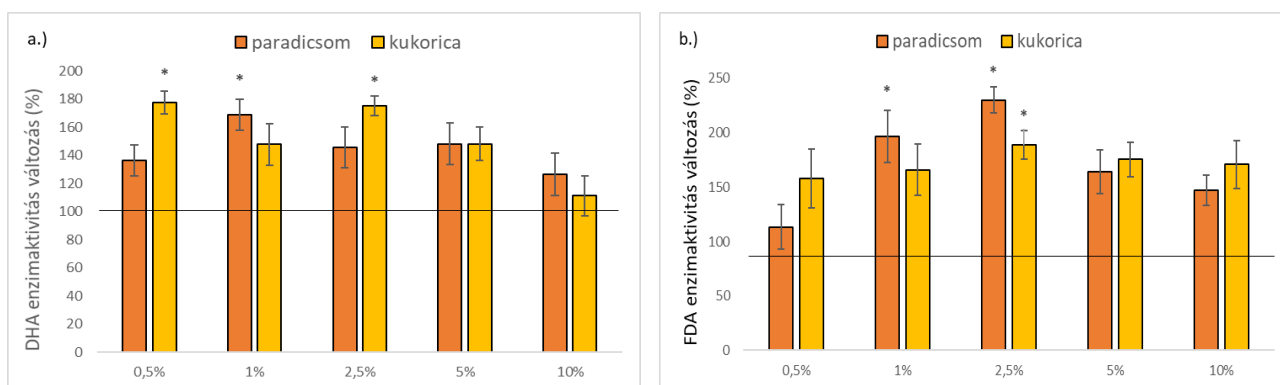
14. ábra. Növekvő bioszén dózisok hatása a talaj a-b.) Aerob- és fakultatív anaerob- c-d.) Anaerob- e-f.) fonalas gomba setszámának alakulására.

A tenyészedény kísérletek talajának aerob és fakultatív anaerob sejtszámában a vizsgálat második mintavételi időpontjában (két héttel a kísérlet indítása után) növekedés mutatkozott a kiindulási adatokhoz képest (14.a.b ábrák). Mind a 2015-ös paradicsom, mind pedig a 2016-os kukorica kísérleteknél dózishatás volt megfigyelhető a növekvő bioszén koncentráció hatására a talaj aerob- és fakultatív anaerob élősejtszámában, a második mintavételi időpontban. Míg a paradicsom kísérletben a 2,5-, 5- és 10 m/m%-os bioszén dózisok egyaránt 10^{6-7} közötti sejtszámot eredményeztek (8/a. ábra), addig a kukorica kísérletben az aerob- és fakultatív anaerob sejtszám már a 0,5 m/m%-on növekedést mutatott és a növekvő dózisokkal tovább differenciálódott. Ebben az időpontban pozitív lineáris korreláció (>95%) állt fent a talajba juttatott bioszén mennyisége és az aerob- és fakultatív anaerob talajbióta élősejtszáma között.

Az obligát- és fakultatív anaerob élősejtszám vizsgálata során kiderült, hogy már a kísérlet beállításakor (1. mintavétel), csökkent a kitenyészthető baktériumok mennyisége a talajban. A paradicsom és a kukorica kísérletek második mintavételi időpontjában az aerob-anaerob csíraszám összehasonlítása során negatív lineáris korrelációt, ugyanakkor egyik esetben sem sikerült legalább 95%-os megbízhatóságú szignifikancia szintet megállapítani (11. táblázat). A két csoport közötti negatív összefüggésre magyarázatot adhat TOSCANO és társai (2013) munkája, akik propilén glikollal szennyezett telítetlen talajok természetes mikroba aktivitását vizsgálták. Arra a következtetésre jutottak, hogy a kalcium-hidroxid hozzáadásával, a talaj felső aerob rétege horizontálisan mélyebbre tolódott, ezáltal csökkent a hidrolízis (hidrolizáló baktériumok segítségével, obligát aerob és fakultatív anaerob szervezetek) szubsztrát redukciója. A kísérletek bontásakor eltérést tapasztaltam a két növény rizoszféra összetételének alakulásában. A paradicsom kísérletben a tenyészedény kísérletek bontásakor az élő aerob- és anaerob sejtszámok visszaálltak a kiindulási szintre. Ez alól kivétel az 5- és 10 m/m %-os dózisoknál mért aerob- és fakultatív anaerob talajbióta, amelyek a kontroll talaj értékétől

elmaradnak (14.a.c ábrák). A kukorica kísérlet zárásakor azonban azt tapasztaltam, hogy mind az aerob- és fakultatív anaerob, mind pedig az anaerob élősejtszám a kiindulási állapothoz képest tartósan megváltozott (14.b.d ábrák).

A bioszén kezelések fonalas gombákra gyakorolt hatása a 14.e-f ábrákon látható. Mind a két tesztnövény esetén, a kísérlet előrehaladtával növekedett a kontroll kezelésekben a gomba biomasza mennyisége. A kísérlet félidejében (2. mintavétel) mindkét növénynél megállapítható a bioszén növekvő koncentrációjával párhuzamos dózishatás. A paradicsom kísérletben két és fél-, a kukorica kísérletben pedig másfél nagyságrenddel magasabb sejtszámot mértünk a kezeletlen kontroll és a nagy (2,5-,5-, 10 m/m %) bioszén dózisok között. A megnövekedett talaj-eredetű gombák sejtszámáról kapott eredményei egybevágóak LEHMANN és társai (2011) munkájával, akik a mikorhizza, valamint a talajeredetű kórokozó gombák növekedéséről számoltak be a bioszén kezelések hatására.



15. ábra. Növekvő bioszén dózisok hatása a talaj: a) Dehidrogenáz-, b) FDA enzimaktivitásának alakulására a kísérlet zárásakor, a kontroll százalékában.

tenyészedény kísérlet végén, a talaj dehidrogenáz enzimaktivitás mérése során, paradicsom kísérletben minden kezelésnél nagyobb enzimaktivitást tapasztaltam a kontrollhoz viszonyítva, melyek közül az 1 m/m %-os bioszén dózisonál sikerült 95 %-os szignifikancia szinten statisztikai különbséget kimutatni (15/a. ábra). Kukorica kísérletben a 10 m/m % esetében a kontrollnál magasabb DHA aktivitás mutatkozott. A 0,5- és 2,5 m/m % közötti koncentrációk 95 %-os szignifikancia szinten, a páronkénti összehasonlítás során elkülönültek, a kontroll csoporttól. Az enzim-aktivitás visszaesésének magyarázata 1 m/m %-on, nem egyértelmű. A csökkenés ebben a mátrixban nem követett semmilyen tendenciát, így a hatás háttérben egyszeri befolyásoló tényező állhat (Liebig-féle minimumtörvény).

A fluoreszcein diacetát hidrolitós aciditás aktivitás mérése során, a bioszén kezelések összehasonlításakor, a paradicsom kísérlet végén, katabolikus aktivitás intenzitása alapján több csoportot is el tudtam különíteni. A kontroll halmazhoz viszonyítva 95 %-os szignifikancia

szinten, az 1- és 2,5 m/m %-os bioszén dózisok szignifikáns növekedést generáltak az FDA enzimaktivitásban, a paradicsom esetében (15/b. ábra). A kukorica kísérlet végén, a kontroll talajhoz 1,5-2-szer magasabb értéket mértem minden bioszén kezelésben, ugyanakkor a csoportok páronkénti összevetésekor csak a 2,5 m/m %-os dózisonál találtam szignifikáns különbséget.

11. táblázat. A bioszén kezelések hatásának elemzése korrelációanalízissel - statisztikai értékelés

| | DHA | FDA | Aerob | Anaerob | <i>Pseudomonas</i> sp. | Fonolas gomba | Nitrogén | Foszfor | Kálium | Magnézium | Mangán | Cink |
|------------------------|--------|--------|--------|---------|------------------------|---------------|----------|---------|--------|-----------|--------|------|
| DHA | 1 | | | | | | | | | | | |
| FDA | ,786** | 1 | | | | | | | | | | |
| Aerob | ,845** | 0,576 | 1 | | | | | | | | | |
| Anaerob | -0,56 | -0,519 | ,582* | 1 | | | | | | | | |
| <i>Pseudomonas</i> sp. | ,881** | ,765** | ,788** | -,797** | 1 | | | | | | | |
| Fonolas 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 | | | | |
| Kálium | ,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 (kétooldali próba)

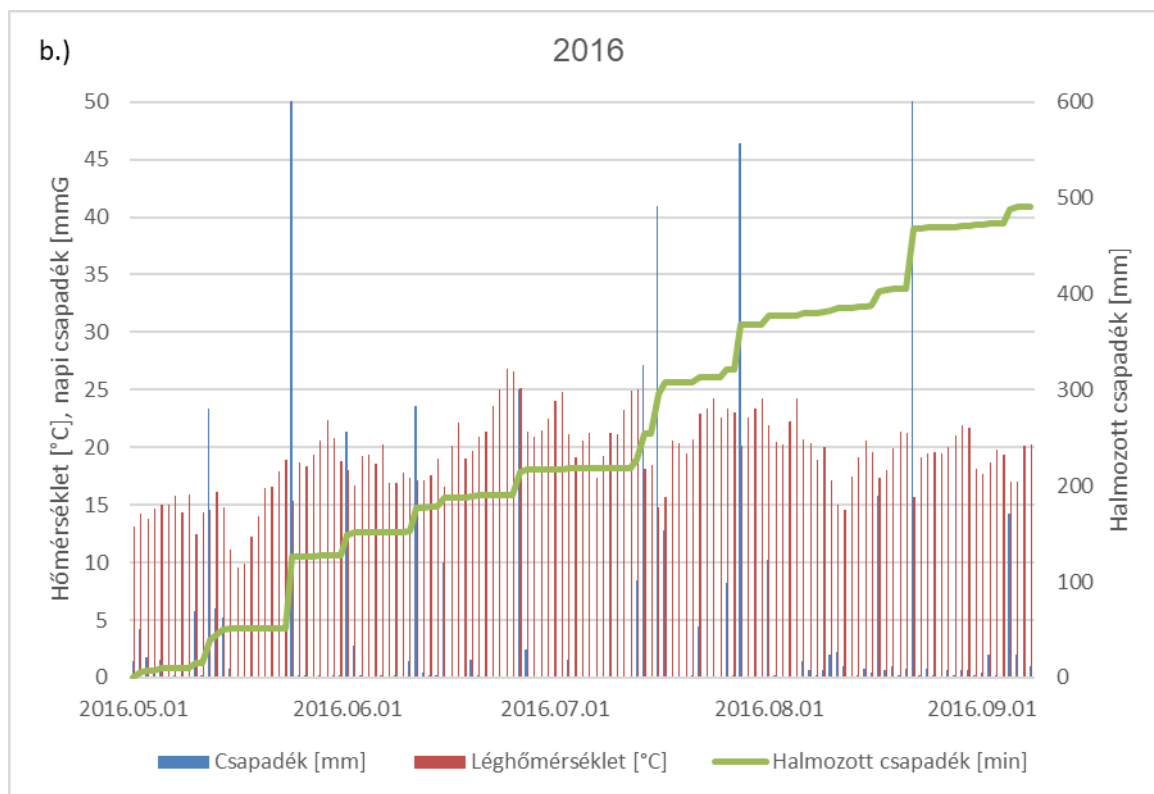
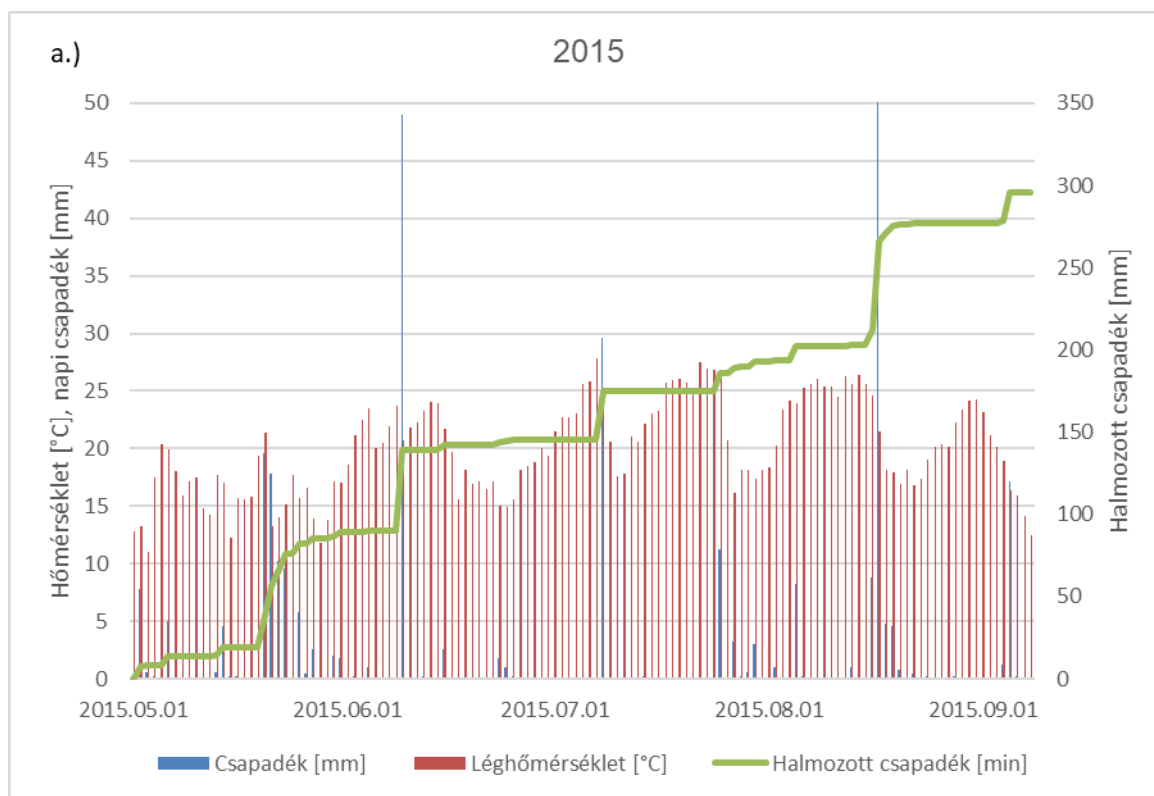
*p < 0,05 (kétooldali próba)

A tenyészedény mátrixban Pearson-féle korrelációval vizsgált összefüggéseket a 11. táblázat tartalmazza. A két növénykultúra eredményeinek összevonása után kijelenthető, az általam vizsgált oxidoreduktáz csoportba tartozó DHA és a hidroláz csoportba tartozó FDA enzimekativitások erős (0,786**) korrelációban voltak egymással a tenyészedény kísérletek alatt. A dehidrogenáz enzim aktivitása további erős pozitív korrelációban állt az összes aerob-, fluoreszcein pigmentet termelő *Pseudomonas* és kitenyészthető fonalas gomba biomassza tömeggel. Az enzim aktivitás mértékével arányos volt, a növények kálium (0,804**) és magnézium (0,798**) felvétele. Az FDA enzim aktivitása a DHA mellett szoros összefüggésben állt a rizoszféra, *Pseudomonas* sp. (0,788**) biomassza mennyiségével a talajban, továbbá kapcsolat állt fenn az FDA aktivitása és a növények magnézium koncentrációja (0,591*) között. Az FDA aktivitás a vizsgálatok során összefüggést mutatott még a nitrogén-, foszfor- és kálium felvételével, továbbá a talaj aerob- és fakultatív anaerob sejtszámával, ugyanakkor negatív összefüggés látszott az enzim aktivitása és a talajból kitenyészthető anaerob mikroba száma között. A korrelációs vizsgálatokból kiderül, hogy ahogy az várható, az aerob-anaerob mikrobák aránya között negatív szignifikáns (-0,582*) kapcsolat állt fent. Az összefüggés „alacsonyabb” mértéke mögött a mikroba csoportok légzéstípusai közötti átfedéseknek (obligát-fakultatív) tulajdonítható. További negatív kapcsolat állt fent a *Pseudomonas*- és gomba biomassza tömeg, valamint az anaerob sejtszám között. Mivel az első két csoport erős pozitív összefüggést mutatott a növények kálium (0,917** 0,828**) és magnézium (0,935** 0,879**) tartalmával, valamint a kitenyészthető anaerob sejtszám erős negatív korrelációban állt (-0,824** -0,884**) ezzel a két elemmel, így kijelenthető, hogy a rizoszféra, *Pseudomonas* és a talajmikóta mennyisége és összetétele szerepet játszik a paradicsom és kukorica növények, kálium és magnézium szintézisében. Megjegyzendő, hogy az alábbi összefüggések, mindkét növény kísérleti eredményeire igazak voltak, így kizárható az a feltevés, hogy a két vizsgált növény gyökérszónájának változatossága eltérő vizsgálati módszert igényelne.

4.4.2. A növekvő bioszén adagok hatása szabadföldi kísérletekben

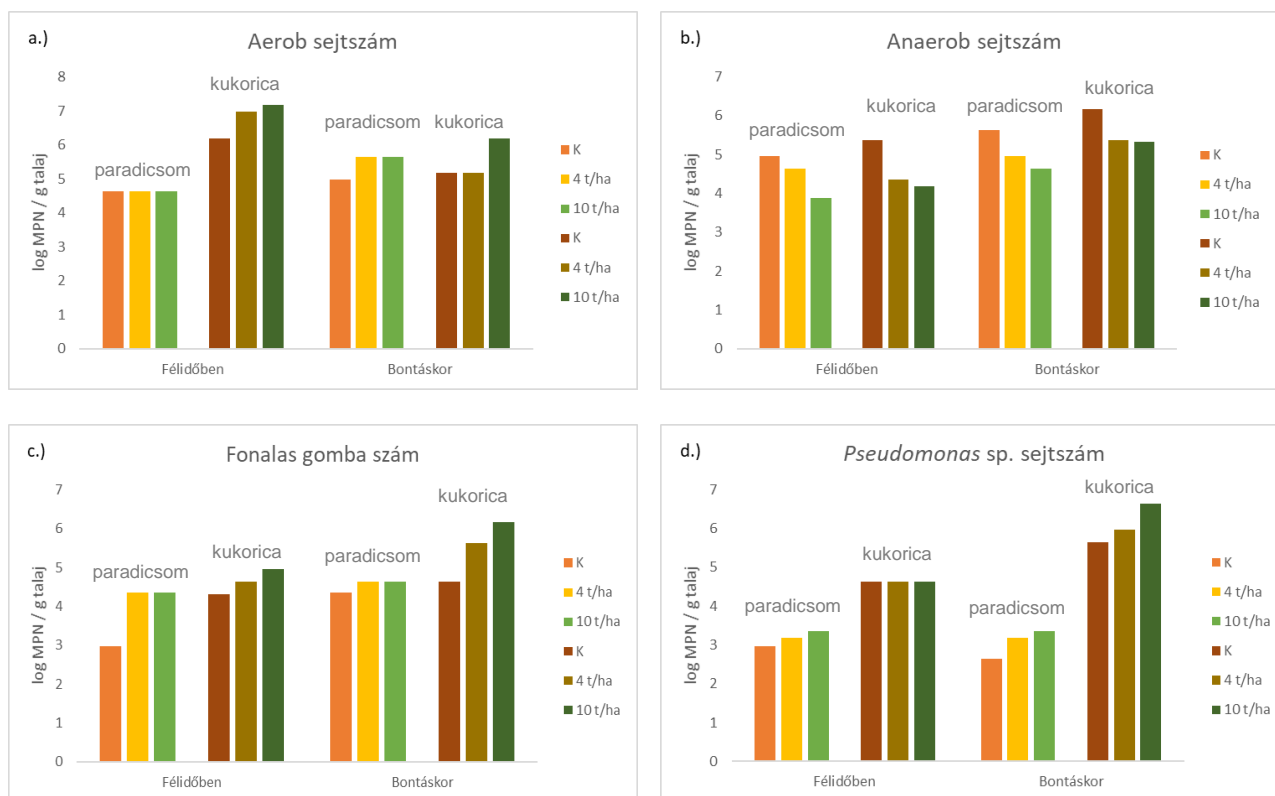
A 2015-ös paradicsom kísérlet tenyészidőszakában összesen 295,8 mm csapadék hullott (16/a. ábra). Eloszlása egyenlőtlenül, négy csúcsban teljesedett ki, melyek május 20-27, június 9-, július 7- és augusztus 16-20 közé estek. Átlagos napi középhőmérséklet 20,03-, míg az átlagos napi hőingás 16,15 °C volt. Magyarország sérülékenysége a globális éghajlatváltozás tekintetében jól érzékelhető abból is, hogy 2016-ban ugyanazon a kísérleti helyszínen május elseje és szeptember elseje közötti időszakban 491,2 mm csapadék hullott, ami a 2015-ben mért csapadék 1,7-szerese (16/b. ábra). Eloszlása 2015-höz képest egyenletesebben, ugyanakkor 8

csúcs köré halmozódott. Az átlagos napi középhőmérséklet 19,15-, az átlagos napi hőingás 15,49 °C volt.



16. ábra Hőmérséklet és vízellátottság alakulása a szabadföldi kísérletekben: a) a paradicsom-, b) a kukorica növények tenyészidőszakában.

Tenyészedényes körülmények között mind a paradicsom, mind pedig a kukorica előkísérletekben 1 m/m %-os bioszén dózisok indukálták a legmagasabb növekedést a növény tápanyag-felvételben (16.a.b.c.g ábrák), valamint magas értéket mutatott a Dehidrogenáz- és az Fluoreszcein Diacetát enzimaktivitás mérések során (16.a.b ábrák), ezért szabadföldi kísérletben ezt a dózist tekintetem optimumnak. A kísérlet megtervezése során, tenyészedény kísérletben tesztelt bioszén koncentrációk 0,5 m/m % (~ 4 t/ha), valamint 1 m/m % (~10 t/ha) kerültek beállításra. A szabadföldi kísérletekben felhasznált bioszén dózisok hatását a talaj mikroba sejtszámára a 17. ábra, míg a Dehidrogenáz és FDA enzimaktivitásokra gyakorolt hatásait a 18. ábra mutatja be.



17. ábra. Növekvő bioszén dózisok hatása a talaj: a) Aerob- és fakultatív anaerob-, b) Anaerob-, c) fonális gomba- és d) *Pseudomonas* sp. sejtszámának kinetikájára. Soroksár, szabadföldi paradicsom (2015) és kukorica (2016) kísérlet.

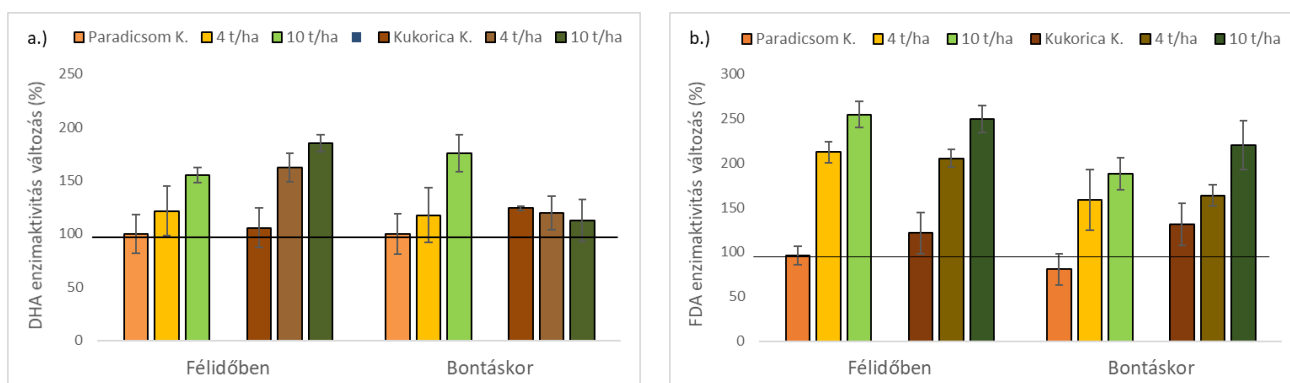
A 2015-ös paradicsom kísérlet aerob- és fakultatív anaerob sejtszám vizsgálata során, a kísérlet bontásakor tapasztaltam biomassza tömeg-növekedést, mind a 4- mind pedig a 10 t/ha bioszén dózisoknál. A kontroll talaj aerob- és fakultatív anaerob sejtszáma nem változott a vizsgált időpontokban (17/a. ábra). A 2016-os kukorica kísérlet félidőjében mind a kontroll, mind az

egy bioszén kezelések esetén nagyobb sejtszámot regisztráltam mint a kísérlet zárásakor. Ez az eredmény egybevághat FÜZI és társai (2013) munkájával. Szerintük a növény-szimbionta kapcsolatok intenzitásának optimumát az állomány 60 %-os virágzási állapotában éri el, majd a növény a vegetációs idő előrehaladtával azt folyamatosan leépíti. Arid talajon végzett méréseik alapján BIRÓ és társai (1993) arra a következtetésre jutottak, hogy ebben az időszakban a növény-*Rhizobium* szimbionta kapcsolaton keresztül, a talajban szabadon megkötött nitrogén a 20-30 kg/ha mennyiséget is elérheti, amely általában véve megfelel a növényi nitrogén-szükséglet 25%-ának.

A kitenyészthető anaerob mikroszervezetek mennyisége, mind a 4- mind pedig a 10 t/ha bioszén dózisok hatására csökkent a talajban (17/b. ábra). Ezek az eredmények átfedést mutatnak a korábbi tenyészedény kísérlet eredményeivel, ugyanakkor a szabadföldi vizsgálatok során sem sikerült paraméteres, ill. nem paraméteres próbával, légzés szerint csoportosított „aerob-anaerob” kapcsolatot kimutatni. Annál is inkább elgondolkodtató ez az eredmény, hogy a mikroba kitenyésztes vizsgálatok során, egyes nemzetségek mind az aerob-, mind pedig az anaerob Petri-csészékben megjelenhetnek, mert az alacsony redoxpotenciál nem jelent számukra korlátozó tényezőt (fakultatív anaerob).

A talajbiótában lévő fonalas gombák biomasszájának mennyiségére, a bioszén dózisok mind a paradicsom mind pedig a kukorica növénykísérletekben pozitív hatást gyakoroltak, a kontrollkezeléshez viszonyítva (17/c. ábra). A növekedés mértéke eltért a két növénykísérletben. Paradicsom vizsgálata során, a bioszén dózisok által indukált növekedés mértéke kisebb volt és a két dózis (4- és 10 t/ha) között és nem tapasztaltam statisztikailag alátámasztható különbséget, ugyanakkor kukorica kísérlet végére a 10 t/ha dózis kedvezőbb hatással volt a kitenyészthető fonalas gombaszám alakulására. A szabadföldi kísérletek során a kitenyészthető fonalas gombák mennyisége végig növekedett. Hasonló eredményre jutottak LIAO és társai (2014), akik a talaj baktérium és fonalas gomba közösségeinek összetételét vizsgálták bioszén hozzáadásával, erdőtalajon. Arra az eredményre jutottak, hogy a biocharnak nagy hatása van a talaj mikrobiális összetételére és rövid idő alatt a talajban lévő kulcsfontosságú baktérium- és fonalas gomba taxonok gazdagodását idézi elő. A molekuláris taxonvizsgálatok során szignifikáns eltérést találtak a baktériumok esetében mind nemzetség-, mind pedig törzs szinten, ugyanakkor a gomba közösségnél ez az eltérés csak nemzetség szinten jelentkezett, kiemelve az *Actinobacteria*-, *Trichoderma*- és *Paecilomyces* nemzetségek felszaporodását. JUNHUI és társai (2013) ezzel szemben szántóföldi kísérletben vizsgálták 20- és 40 t/ha bioszén kezelés hatását a talajbióta alakulására 16S rRNS és a 18S rRNS gén alapján. Ők arra az eredményre jutottak, hogy a kezelések hatására 35 %-kal csökkent a fonalas gombák génállománya a közösségi struktúrában, a kontroll talajhoz viszonyítva.

A növényi rizoszférában a baktériumok a legelterjedtebb mikroorganizmusok, ezért valószínű, hogy nagyobb mértékben is befolyásolják a növények fiziológiáját, különös tekintettel a gyökér kolonizáció versenyképességére (SIVASAKTHI et al., 2014). JALEEL és társai (2007) arra az eredményre jutottak, hogy a natív növénynövekedést serkentő csoportba tartozó *Pseudomonas* nemzetség egyes talajban előforduló törzsei pozitív hatást fejt ki a rózsás meténg biomassza termés és alkaloid tartalmának növelésére. Kísérletükben a *Pseudomonas fluorescens* kezelés fokozta a biomassza növekedését és részben kiegyenlítette az aszály által kiváltott növekedési gátlást a friss és száraz biomassza tömegben. Szabadföldi vizsgálataim során szignifikáns eltérést tapasztaltam a paradicsom és kukorica növények rizoszférájából kimutatható *Pseudomonas* sejtszám alakulásában. Míg a paradicsom kísérletben a sejtszám a kísérlet során közel állandó maradt, addig kukorica kísérletben az idő előrehaladtával az folyamatosan nőtt. A dózisok közötti sejtszámbeli eltérések, minden mintavételi időpontban, egy nagyságrenden belül maradtak a kontrollhoz képest. A két növény kísérlet zárásakor mért eltérésekre a *Pseudomonas* nemzetségnél, a kísérlet bontáskori növény stádium adhat magyarázatot. Kukorica kísérletben ekkor már a vegetatív részek fokozatos elhalása történik, ami a szaprofita talajmikrobák felszaporodásához vezet (GROSS és DEVAY, 1979).



18. ábra. Növekvő bioszén dózisok hatása a talaj: a) Dehidrogenáz-, b) FDA enzimaktivitásának alakulására szabadföldi kísérletben, a kiinduláskori kontroll százalékában.

A szabadföldi kísérletek során, a 10 t/ha bioszén kezelések szignifikáns (>95%) növekedést eredményeztek a két növénykísérlet félidejében, vagyis a kísérletben használt dózisok közül ez a mennyiség eredményezte a legoptimálisabb, növények által kiépíthető szimbiotikus kapcsolatot (18/a. ábra). A szabadföldi kísérlet bontásakor a paradicsom talajában a DHA aktivitása érdemben nem változott, ami a még nem befejezett vegetációs időre utal, ezzel szemben a kukorica kísérletben a növények vegetatív részeinek elhalása már végbement, amit alátámasztanak a kiindulási szintre visszaesett dehidrogenáz enzimaktivitás eredmények.

Az FDA hidroláz enzim aktivitása során a DHA-hoz hasonló, szignifikáns növekedést (>95%) mértem a vegetációs idő 60 %-os állapotában, ugyanakkor a DHA aktivitással ellentétben, ebben az időszakban a 4 t/ha-os dózis is szignifikáns növekedést eredményezett a kataláz enzim aktivitásában (12/b. ábra). A kísérlet bontásakor mind a paradicsom, mind a kukorica kísérletben továbbra is a kontrolltól szignifikánsan magasabb értékeket mértem. Ha összevetjük a két enzim aktivitását, akkor feltételezhető, hogy a paradicsom kísérletben a még be nem fejeződött vegetációs idő okozhatja a magasabb enzimaktivitás értékeket. A kukorica kísérlet zárásakor, a növények vegetációs ideje befejeződött, tehát a magas FDA aktivitás háttérében már valószínűleg a megindult katabolikus folyamatok állnak. Ezt a folyamatot a dehidrogenáz aktivitás mérésével modellezni már nem lehet, hiszen míg az oxidoreduktázok az energia felszabadításában játszanak szerepet, addig a hidrolázok olyan enzimek, amelyek a szubsztrátok kovalens kötéseit víz részvételével bontják, így elsősorban a lebontási folyamatokban vesznek részt (CSAPÓ és KISS, 2002). ASERI és társai (2007) arid talajokon vizsgáltak különböző biológiai indikátorokat. Eredményükben a hidroláz FDA enzimaktivitás előnyeit részletezik gyenge termőrétegű talajokon. Több enzim aktivitását (FDA, DHA, savas és lúgos foszfatáz, fitáz) hasonlítottak össze más fiziko-kémiai-biológiai talaj-paraméterekkel együtt. Arra a következtetésre jutottak, hogy az FDA jobb indikátora lehet a talaj teljes biológiai aktivitásának arid talajokon, mint a széles körben használt DHA. Ennek oka, hogy a megemelkedett enzim-aktivitással egyenesen arányos a szén és tápanyagok beszivárgása a talajba. A mikrobiális aktivitás mennyiségi és minőségi változást eredményez a növény által kiválasztott gyökérsavakban. Így az exudátumok összetételében és a mikrobiális metabolitok, exoenzimek felszabadulásában. Eredményeik alapján, az FDA hidrolizálható aktivitás lineáris, szignifikáns kapcsolatban állt, a sokoldalú mikroorganizmus anyagcsere-folyamatokkal.

12. táblázat. A bioszén kezelés hatása korreláció analízissel elemezve a talaj egyes biológiai tulajdonságaira szabadföldi kísérletben

| | DHA | FDA | Aerob | Anaerob | <i>Pseudomonas</i> sp. | Fonalas gomba |
|------------------------|--------|--------|--------|---------|------------------------|---------------|
| DHA | 1 | | | | | |
| FDA | -,135 | 1 | | | | |
| Aerob | ,895** | ,350 | 1 | | | |
| Anaerob | ,025 | -,874* | -,499 | 1 | | |
| <i>Pseudomonas</i> sp. | ,800* | -,646 | ,950** | ,044 | 1 | |
| Fonalas gomba | ,789* | -,371 | ,599 | -,581 | ,834* | 1 |

** p<0,01 (kétoldali próba)

* p<0,05 (kétoldali próba)

Szabadföldi kísérletek során nem sikerült, a tenyészedény kísérletben tapasztalt valamennyi összefüggést kimutatni (12. táblázat). Ennek okai a nyílt, környezeti körülményeknek kitett

vizsgálati mátrixban kereshető. Magyarország kitettségét a globális klímaváltozásnak, jól jellemzi a két vizsgálati évben tapasztalt eltérő mértékű nedvességi viszonyok kialakulása (16.a.b ábrák). A tenyészedény kísérlethez hasonlóan Pearson-féle korrelációval szignifikáns összefüggést találtam a dehidrogenáz enzim aktivitása és az aerob- és fakultatív anaerob talajbióta, a talaj fluoreszcein pigmentet termelő *Pseudomonas*-, valamint a fonalas gomba nemzetségeket képviselő törzsek biomasszájának mennyisége között. Az FDA aktivitás negatívan korrelált (-0,874*) a talaj kitenyészthető anaerob mikrobák sejtszámával. A tenyészedény kísérletekhez hasonlóan a talaj *Pseudomonas* sp. és fonalas gomba tömege pozitív összefüggésben állt egymással, ez az eredmény arra enged következtetni, hogy a talajhoz hozzáadott bioszén által létrejött új ökológiai niche, a vizsgálati idő alatt nem telítődött, így a két csoport között nem alakult ki antagonizmus. A DHA és a talaj kitenyészthető fonalas gomba száma közötti eredményre rációfol KUMAR és TARAFDAR (2003) munkája, akik arid és sivatagos talajokon végzett méréseik alapján, arra a következtetésre jutottak, hogy a dehidrogenáz enzim-aktivitás nem tükrözi a fonalas gomba-populáció telepszámát ezekben a talajokban, pedig a mikrobiális biomassza 17-20 %-át ezek a nemzetségek tették ki. Hasonlóan, arid talajon végzett kutatásaikban SZILI-KOVÁCS és társai (2007) megállapították, hogy korreláció van a mikrobiális biomassza, az alap- és szubsztrát indukált respiráció, a foszfatáz- és a dehidrogenáz aktivitás között. Eredményeimhez hasonlóan a fluoreszcein-diacetát- aktivitás és a dehidrogenáz aktivitás között megközelítőleg szignifikáns kapcsolatot mértek. Ugyanakkor az FDA szignifikáns korrelációt adott a mikrobiális biomasszával, a szubsztrát indukált respirációval és a foszfatáz-aktivitással is. Mérési eredményeimet alátámasztja, hogy a fonalas gombák telepszáma és a dehidrogenáz aktivitás között, ők is pozitív korrelációt állapítottak meg, ugyanakkor szabadföldi kísérletükben a kitenyészthető baktériumszám egyik esetben sem mutatott szignifikáns összefüggést más talajbiológiai változóval, ami felhívja a figyelmet a talajbióta rendkívüli környezeti érzékenységre.

4.4.3. A különböző bioeffektor készítmények hatásának eredményei

Az általunk izolált kelátképző bioeffektor izolátum azonosításához 16S rRNS gén-szakasz alapján folytattunk taxonómiai vizsgálatokat. Külső vizsgáló cég bevonásával az izolátum az *Alcaligenes* nemzetség (100 %) tagjának bizonyult. Pontosabb faji besorolása a vizsgált 1390 nukleotid hosszúságú teljes 16S rRNS gén szakasza alapján nem volt lehetséges, mivel több *Alcaligenes* sp. fajjal mutat >98%-os azonosságot. Az 1390 nukleotid hosszúságú teljes 16S rRNS génszakasz polimorf nukleotidot nem tartalmazott. A szekvencia illesztés eredménye a 13-as 14-es és 15-ös táblázatokban kerül részletes bemutatásra.

13. táblázat. NCBI BLAST illesztés eredménye

| Faj | Accession# | Azonosság (%) | Nukleotid eltérés |
|---|------------|---------------|-------------------|
| <i>Alcaligenes faecalis</i> törzs 1C3N | JF710955 | 99% | 2/1390 |
| <i>Alcaligenes aquatilis</i> törzs LonMTB 7 | KX254355 | 99% | 2/1390 |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> törzs JQ135, teljes genom | CP021641 | 99% | 4/1390 |
| <i>Alcaligenes aquatilis</i> törzs LMG 22996 | NR_104977 | 99% | 6/1390 |

14. táblázat. EZTaxon-e típus törzs adatbázis illesztés eredménye

| Faj | Accession# | Azonosság (%) | Nukleotid eltérés* |
|--|--------------|---------------|--------------------|
| <i>Alcaligenes aquatilis</i> törzs LMG 22996 | JX986974 | 99,86 | 2/1386 |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> <i>subsp. parafaecalis</i> törzs G | AJ242986 | 99,56 | 6/1352 |
| <i>AKMR_s</i> törzs NCIB 8687 | AKMR01000044 | 99,35 | 9/1388 |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> <i>subsp. phenolicus</i> törzs DSM 16503 | AUBT01000026 | 99,06 | 13/1388 |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> <i>subsp. faecalis</i> törzs NBRC 13111 | BBJQ01000024 | 98,92 | 15/1388 |
| <i>Alcaligenes</i> <i>pakistanensis</i> NCCP-650 | AB920828 | 98,60 | 19/1360 |
| <i>Alcaligenes</i> <i>endophyticus</i> törzs AER10 | KR967368 | 97,99 | 28/1390 |
| <i>Paralcaligenes</i> <i>ginsengisoli</i> törzs DCY104 | KP401771 | 96,25 | 52/1388 |
| <i>Eiseniicola</i> <i>composti</i> törzs YC06271 | FJ791048 | 96,10 | 54/1384 |
| <i>Pusillimonas</i> <i>noertemanni</i> törzs BN9 | AY695828 | 95,97 | 56/1390 |

Az *Alcaligenes* nemzetség több fajának írták már le kedvező hatásait, sziderofor termelésük révén a talajeredetű potenciális kórokozó penészgombák visszaszorításában (DWIVEDI et al., 2009; SAYYED and PATEL, 2011), fokozott csírázást, gyökér- és hajtáshossz növekedést (KAKAR

et al., 2018) valamint a növények klorofiltartalmának növekedését (SAYYED et al., 2010) a baktériumok metabolit termelésének hatására.

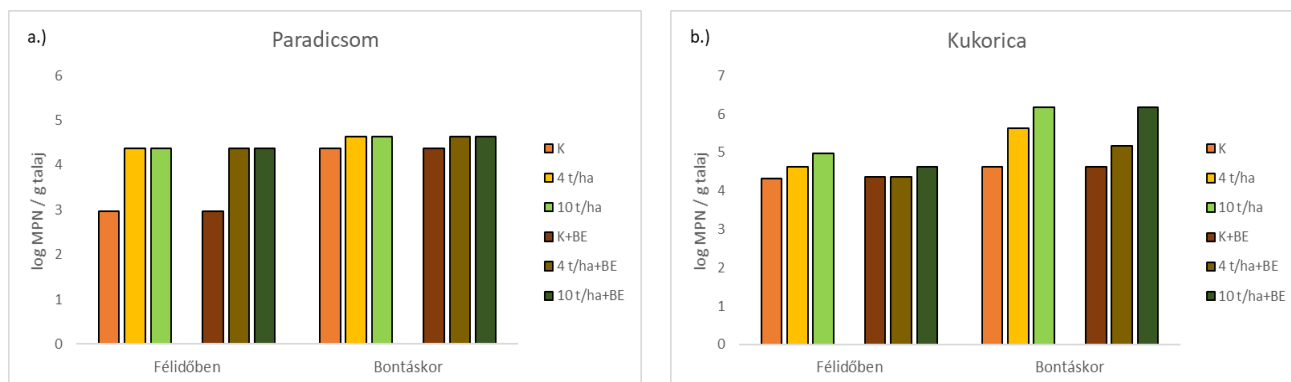
15. táblázat. Bioeffektor talajbaktérium 16S rRNS génjének szekvenciája FASTA formátumban

| >Szekvencia |
|--|
| ATTGAACGCTAGCGGGATGCTTTACACATGCAAGTCGAACGGCAGCACGAGAGAGCTTGCTCTCTTGGTGGCGAGTGGCGGACGG GTGAGTAATATATCGGAACGTGCCAGTAGCGGGGGATAACTACTCGAAAGAGTGGCTAATACCGCATACGCCCTACGGGGGAA AGGGGGGATTCCTCGAACCTCTCACTATTGGAGCGGCCGATATCGGATTAGCTAGTTGGTGGGGTAAAGGCTACCAAGGCAA CGATCCGTAGCTGGTTTGAGAGGACGACCAGCCACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGA ATTTTGGACAATGGGGGAAACCCTGATCCAGCCATCCCGCTGTATGATGAAGGCCTTCGGGTTGTAAGTACTTTTGGCAGAGA AGAAAAGGTATCCCCTAATACGGGATACTGCTGACGGTATCTGCAGAATAAGCACCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTA ATACGTAGGGTGCAAGCGTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGTGTGTAGGCGGTTTCGGAAAGAAAGATGTGAAATCCCAGG GCTCAACCTTGGAACTGCATTTTTAACTGCCGAGCTAGAGTATGTCAGAGGGGGGTAGAATTCCACGTGTAGCAGTGAATGCGT AGATATGTGGAGGAATACCGATGGCGAAGGCAGCCCCCTGGGATAATACTGACGCTCAGACACGAAAGCGTGGGGAGCAAACAG GATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCCCTAAACGATGTCAACTAGCTGTTGGGGCCGTTAGGCCTTAGTAGCGCAGCTAACGCGTG AAGTTGACCGCCTGGGGAGTACGGTCGCAAGATTAANAATCAAAAGGAATTGACGGGGACCCGCACAAGCGGTGGATGATGTGGA TTAATTCGATGCAACGCGAAAAACCTTACCTACCCTTGACATGTCTGGAATCCCAGAGAGATTGGGAGTGTGCAAGAGAACC GGAACACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTGTCGAGATGTTGGGTTAAGTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTGTGATTA GTTGTACGCAAGAGACTCTAATGAGACTGCCCGTGACAAACCGAGGAAGGTGGGGATGACGTCGAAGTCCATGAGCCCTTAT GGGTAGGGCTTCACACGTCATACAATGGTCGGGACAGAGGGTCCCAACCCGCGAGGGGGAGCCAATCTCAGAAACCCGATCGT AGTCCGGATCGCAGTCTGCAACTCGACTGCGTGAAGTCGGAATCGCTAGTAATCGCGGATCAGAATGTCGCGGTGAATACGTTCC CGGGTCTTGTACACACCGCCGTCACACCATGGGAGT |

Talajban élő fonalas gombák biomasszájának alakulása bioszén és bioeffektor kezelések hatására

Vizsgálataim alapján nem találtam összefüggést a talaj fonalas gomba-, valamint a kijuttatott *Alcaligenes* oltóanyag abundanciája között (19.a.b ábrák). Tehát a 2015-ös paradicsom- és a 2016-os kukorica szabadföldi kísérletekben a talajgombák biomasszájának tömegét nem feltétlenül a bioeffektor oltóanyag, hanem elsősorban a kijuttatott bioszén dózisa határozta meg. Eltérő eredményre jutottak FÜZY és társai (2003), akik szikes talajon több növényfajt vizsgálva a rhizoszférába juttatott vaskelát képző (sziderofor) *Pseudomonas* nemzetségbe tartozó törzsek eredményességét állapították meg a talajeredetű patogén gombák távoltartásában.

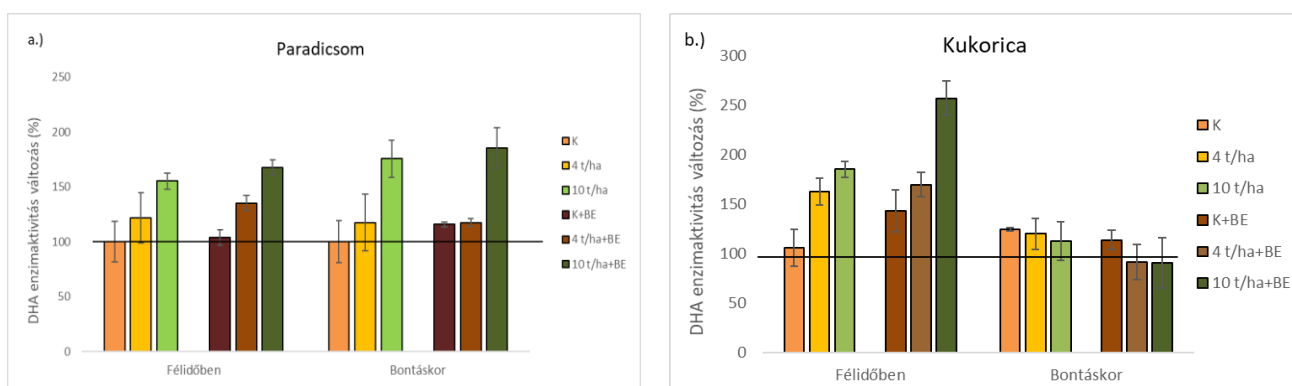
A sziderofor termelő baktériumok sokszínűségét hangsúlyozzák ANSARI és társai (2017), akik a sziderofor szerkezeteket vizsgálva, a baktérium nemzetségeket a szerint csoportosították, hogy milyen kelát képzésével oldják a Fe (III)-ionokat. Vizsgálataik alapján az alábbi fő csoportok különíthetők el: hidroxamátok, pyrokatecinek, karboxilátok és vegyes kelátképzők. A sziderofor termékek tehát lehetnek különbözők, amelyek részben eltérő fajokhoz is kapcsolhatók, de az elért eredményben, azaz az antagonista hatásban már nincsenek ilyen jól elkülöníthető különbségek.



19. ábra. Növekvő bioszén dózisok és bioeffektor oltás kombinált hatása a kitenyészhető mikroszkopikus gombák mennyiségére: a) Paradicsom, b.) Kukorica kísérletben. K=kontroll, BE= bioeffektor

Dehidrogenáz enzimaktivitás alakulása bioszén és bioeffektor kezelések hatására

A Dehidrogenáz enzimaktivitás (DHA) analízissel mérhető sejthez kötött mikrobiális enzimaktivitás meghatározásakor, a kísérlet félidejében vett mintáknál, mind a paradicsom mind pedig kukorica kísérletben magasabb TPF értékeket (TTC-t trifetil-formazán redukció) mértem a bioeffektor (BE) kezelések hatására, mint amikor a bioszén (B) csak önállóan került kijuttatásra (20.a.b ábrák). Mindkét szabadföldi növénykísérletben szignifikáns ($p < 0,05$) különbséget találtam a kezeletlen kontroll, valamint a 4 t/ha bioszén+BE, valamint a 10 t/ha bioszén+BE kezelések között. A kísérletek félidejében a paradicsom kísérletben nem, míg a kukorica kísérletben a 10 t/ha+BE kezelés szignifikánsan magasabb értéket mutatott, mint a 10 t/ha bioszén kezelés önmagában. Meg kell említeni, hogy a kukorica kísérletben, ebben az időszakban, a BE-kezelt kontroll mérhető, de a használt paraméteres próbákkal alá nem támasztható növekedést indukált a talaj DHA aktivitásában, a kezeletlen kontrollal összehasonlítva.

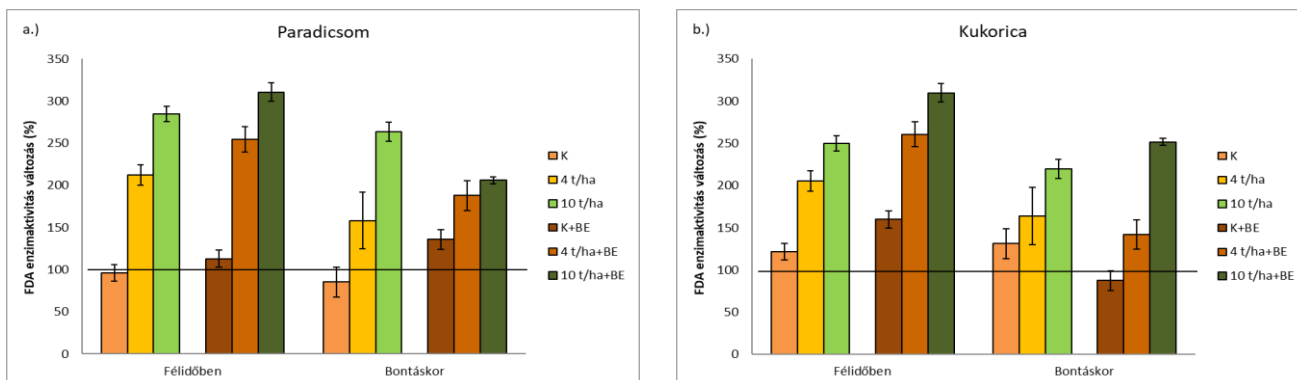


20. ábra. Növekvő bioszén dózis és bioeffektor oltás együttes hatásai a talaj dehidrogenáz enzimaktivitásának alakulására: a) Paradicsom, b) Kukorica szabadföldi kísérletben, a kiindulási kontroll értékek százalékában.

Fluoreszcein-diacetát enzimaktivitás alakulása bioszén és bioeffektor kezelések hatására

A Fluoreszcein-diacetát hidroláz (FDA) enzimaktivitás analízissel meghatározott összes mikrobiális enzimaktivitás eredményeinél, az összes mintavételt vizsgálva hasonlóan a DHA-val kapott eredményekhez a bioszén (B) kezelés és a bioszén+bioeffektor (BE) kezelések a kísérlet félidejében egyaránt szignifikáns különbséget mutattak a kezeletlen kontroll növények rizoszférajához viszonyítva (21.a.b ábrák). A paradicsom és kukorica kísérletekben egyaránt megfigyeltem, hogy a B+BE kezelések nagyobb FDA aktivitást generáltak a virágzási stádiumban, mint a bioszén kezelés önmagában. Ugyanakkor az azonos bioszén dózis halmazok összehasonlításakor a paradicsom kísérletben, a DHA-hoz hasonlóan itt sem tapasztaltam szignifikáns különbséget a B és a B+BE kezelések között. Ezzel ellentétben, a kukorica szabadföldi kísérletben a 10 t/ha bioszén és a 10 t/ha bioszén+BE között szignifikáns különbséget találtam. A 4 t/ha bioszén + BE és a 10 t/ha bioszén kezelések között nem állt fent szignifikáns különbség, ami arra utal, hogy a B+BE kezelések hatásai között szinergizmus alakulhat ki. A kísérlet zárására a kezelések közötti tendencia az FDA alakulásában nem változott. Szignifikánsan magasabb értéket mértem a 10 t/ha bioszén+BE, mint a 10 t/ha bioszén kezelésben. A kukorica kísérletben a DHA (20. a és b ábrák) visszaesése történt mind a B mind pedig a B+BE parcellákban, míg az FDA aktivitás magas maradt a kísérlet bontásakor (21. a és b ábrák). Az a tény, hogy a kukorica kísérletben, a BE kezelés, a kísérlet bontásakor növelte az FDA aktivitást, arra enged következtetni, hogy a vizsgált *Alcaligenes* oltóanyag extracelluláris enzimkiválasztáson keresztül növelte a talajban végbemenő katabolikus folyamatokat. Ez a feltételezés egybevág TANIO és társai (1982) munkájával, akik *Alcaligenes faecalis* törzsnél mutattak ki polihidroxitirát (PHP)-depolimeráz enzim-termelést. A tényt, hogy az *Alcaligenes* nemzetség tagjai jól alkalmazhatók enzim kataláz degradációs folyamatokban IWATA és társai (2002) is alátámasztják, akik poli (3-hidroxitirát) négy random kopolimerének vizes közegben lezajló degradációs mechanizmusát vizsgálták, ugyancsak *Alcaligenes faecalis* által termelt extracelluláris PHP depolimeráz hatására. A mechanizmus során a depolimeráz enzim a biopolimert alkotó hidroxitirát kristályok felületét koptatja. Arra az eredményre jutottak, hogy a kristályossági fokban bekövetkező változás jelentős hatással lehet az anyag tulajdonságaira a degradáció folyamán, illetve a degradáció lefutásának sebessége szempontjából is fontos kérdés, hogy a kristályos fázis milyen mértékben áll ellen a hidrolízisnek. KIRSCHWENG és társai (2015) vizsgálatukban arra is rávilágítottak, hogy a Poli(3-hidroxitirát)–(PH3B) degradációja gyorsul a hidrolizáló közeg hidroxidion-koncentrációjának növelésével, ugyanakkor a reakció sebessége csak magas (9<) pH érték mellett számottevő.

Vizsgálataim alapján általánosságban elmondható, hogy az FDA eredmények ugyancsak igazolták a talajhoz hozzáadott bioszén dózisok, talajenzim növelő hatását. A DHA-val ellentétben ez a módszer nem csak a sejthez kötött- de sejten kívüli extracelluláris enzimes folyamatok modellezésére is alkalmas.

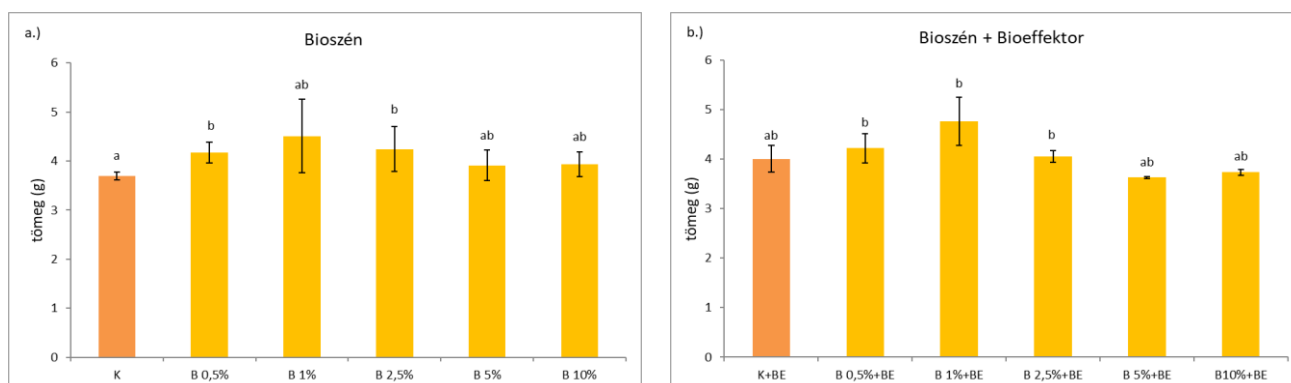


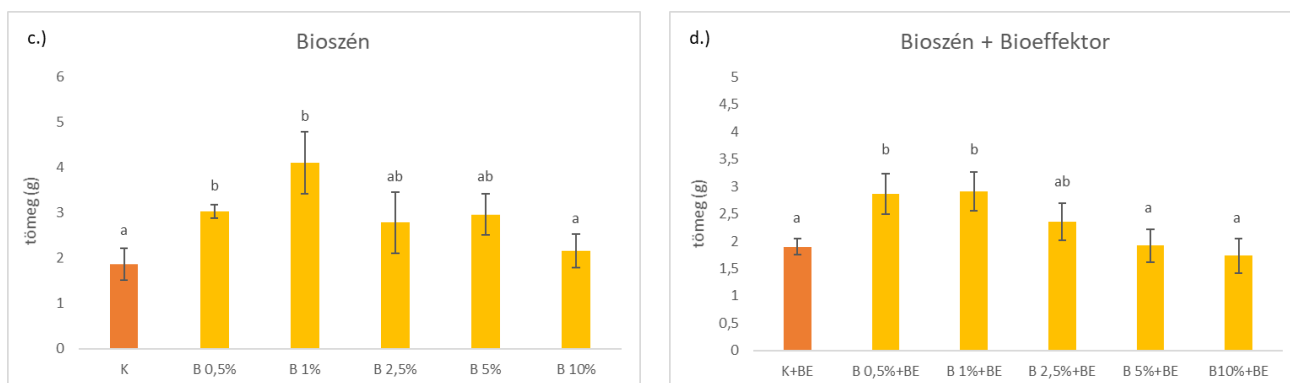
21. ábra. Növekvő bioszén dózisok és bioeffektor kombinációk hatása a talaj FDA enzimaktivitásának alakulására: a) Paradicsom, b) Kukorica szabadföldi kísérletben, a kiinduláskori kontroll százalékában. Soroksár, 2015-2016.

4.5. Bioszén és bioeffektor kezeléskombinációk hatása a növények növekedésére

4.5.1. A kombinált oltás hatása tenyészedény kísérletekben

A szárított biomassza tömeg adatai alapján egyes bioszén dózisok 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 (22/a. ábra).





22. ábra. Növekvő bioszén dózisok és bioeffektor kombinációk hatása a növényi hajtás és gyökér szárított biomassza tömegének alakulására: a-b) Paradicsom, c-d) Kukorica növényeknél tenyészedeny kísérletben.

A 22. ábrán látható, hogy az 1 m/m %-os bioszén dózis, ami a tápanyag-felvételi vizsgálatoknál az optimum volt (13. ábra), ebben az esetben a minta nagy szórása miatt adott statisztikailag alátámasztható különbséget a kontroll csoporthoz viszonyítva. A B+BE együttes kezelések hatására kisebb különbségeket regisztráltam az egyes kezeléseken belül, mint amikor a bioszén csak egyedül alkalmaztam. A 0,5-, 1- és 2,5 m/m %-os bioszén kezelések szignifikánsan magasabb biomasszát eredményeztek tenyészedeny kísérletben (22/b. ábra). Az 5- és 10 %-os koncentrációk egyik esetben sem eredményeztek kimutatható változást a paradicsom növények növekedésében. A 22/b. ábrán látható, hogy az *Alcaligenes* oltóanyag önmagában enyhe növekedést okozott a vizsgált paraméterben, azaz a paradicsom kísérlet növényi biomassza alakulását, elsősorban a bioszén dózis-hatása befolyásolta. A BE oltóanyag ezzel szemben csökkentette az egyes bioszén mátrixokon belül a növények tömegének átlagtól való eltérését, így az szignifikáns különbségként jelenik meg a „K+BE” kezelések többségében a kontrollal összehasonlítva. A 2+2 hetes kukorica kísérletben a 0,5- és 1 m/m %-os bioszén dózisok eredményeztek szignifikáns növekedést a hajtás+gyökérnövekedésben, a kezeletlen kontroll növényekhez képest (22. c és d ábrák). A növényi biomassza termelés optimuma, a vizsgált dózisok közül 1 %-on volt, ahol a kísérlet végére több mint kétszeres különbséget állapítottam meg. A kísérlet ideje alatt nem regisztráltam szignifikáns különbséget ugyanazon bioszén dózisok, mikrobiális oltóanyaggal kezelt és nem kezelt csoportjai között. A paradicsom tenyészedeny kísérlet végére szoros lineáris kapcsolatot találtam a növény hajtás+gyökér tömege, valamint a növények foszfor (0,957**) és kálium (0,935**) tartalma, valamint pozitív lineáris kapcsolatot a biomassza és a növények magnézium (0,840*) tartalma között. Ugyanakkor a kukorica tenyészedeny kísérlet zárásakor a hajtás+gyökér tömeg erős szoros lineáris kapcsolatban állt a növények nitrogén (0,759**) és foszfor (0,734**) tartalmával.

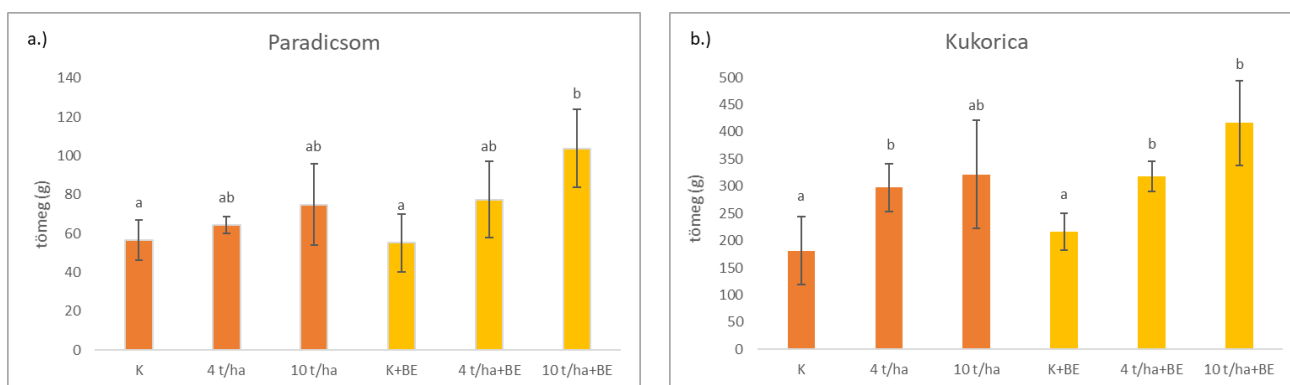
Megjegyzendő még, hogy szignifikáns hatást megközelítő eredményt produkált még a növényi biomassza és a növények magnézium, valamint mangán tartalma is.

A tenyészedényes vizsgálatokból kiderült, hogy míg a 10+2 hetes paradicsom kísérletben a BE oltóanyag hatására csökkentek a bioszén kezelés csoportokon belüli, növény palánták közötti különbségek, addig a 2+2 hetes kukorica kísérletben nem regisztráltam az *Alcaligenes* oltóanyag szignifikáns hatását, a növények növekedésére. A hatás elmaradása, így a két vizsgált növény közötti fenológiai és fejlődéstani különbségekből-, vagy a kísérleti idő rövidege miatti hatáskésleltetésre vezethető vissza. XIANG és társai (2017) metaanalízissel vizsgálták a bioszén növényi biomasszára, azon belül is a gyökér növekedésére kifejtett hatásait. A vizsgálatukat 136 tudományos publikáció eredményei alapján készítették, összesen 13 különböző típusú bioszén kezelés eredményeire építve. Arra a következtetésre jutottak, hogy a bioszén szignifikáns növekedést eredményezett a növényi gyökér biomassza tömegében, térfogatában és a felületében. Ennek eredményeként javult a növény víz és tápanyagfelvétele. Eredményeimhez hasonlóan azt találták, hogy a bioszén kezelése szignifikánsan növelték a növény foszfor- és nitrogén tartalmát is. A tápelem-felvételre azonban kockázatot jelent a bioszén kiegyensúlyozatlansága (YAMATO et al., 2006; RAJKOVICH et al., 2012), ezért kiemelt figyelmet kell szentelni az előállítás során a pirolízis technológia folyamatának (HASS et al., 2012; KOCSIS et al., 2018). XIANG és társai (2017) szerint a szerves- és műtrágya-felhasználás nem okoz változást a gyökér biomasszában és morfológiában, így a bioszén indukált növekedés, hatékonyabbá teheti a tápanyagok felvételét, bioszén és a trágya együttes alkalmazása pedig javíthatja a talaj tápanyag-egyensúlyát, hatékonyabban, mint az önmagában történő a bioszén, vagy a trágya kijuttatása.

4.5.2. A kombinált oltás hatása szabadföldi kísérletekben

Szabadföldi kísérletben 95%-os megbízhatósági szinten, szignifikáns különbséget regisztráltam a BE-vel kezelt és kezeletlen kontroll, valamint a 10 m/m %-os bioszén+BE-vel együttesen kezelt csoportok között a növénytömeg tekintetében, mind a paradicsom, mind pedig a kukorica növénynél (23. a és b ábrák). Mindkét kísérletben, az egyes növényeknek a kezelt csoport átlagától való eltérései nagyok voltak, ugyanakkor megállapítható, hogy egyik esetben sem eredményezett a kijuttatott *Alcaligenes* inokulum önmagában szignifikáns növekedést a kísérletben felhasznált növények biomasszájában. Mind a két vizsgálatban a bioszén növekvő dózishatása erős pozitív lineáris kapcsolatban állt (0,943**) a növényi fejlődéssel. Míg azonban a paradicsom kultúrában statisztikailag alátámasztható különbséget csak a 10 t/ha bioszén+BE eredményezett, addig a kukorica kísérletben már a kisebb (4 t/ha) bioszén kezelés önmagában is növekedést eredményezett a vegetatív biomasszában. Mivel ebben az esetben nem volt

statisztikailag alátámasztható különbség a 4 t/ha bioszén és a többi bioszén+BE kezelések között (23/b. ábra), ezek az adatok alátámasztják a tenyészedény kísérletben kapott eredményeket. A kukorica növény vegetatív részeinek fejlődésére a mikrobiális oltóanyagként használt *Alcaligenes* izolátum nem volt közvetlen hatással. Mivel a szabadföldi kísérletek a generációs fázis befejezéséig tartottak, így kizárható az a tenyészedény kísérletek eredményei alapján felmerült hipotézis, hogy az oltóanyag késleltetett hatású, vagy a növényi fejlődés későbbi szakaszában bír nagyobb jelentőséggel. Ezzel ellentétben, a paradicsom-fejlődésben pozitív szinergizmus lépett fel a bioszén+BE kombinációk hatására. A 23.a ábrán látható, hogy a 4 t/ha+BE kezelés azonos biomassza mennyiséget eredményezett, mint a 10 t/ha bioszén kezelés önmagában. A 10 t/ha bioszén+BE kezelés esetében ennél is nagyobb, a kontroll csoportoktól szignifikánsan magasabb értékeket mértem.

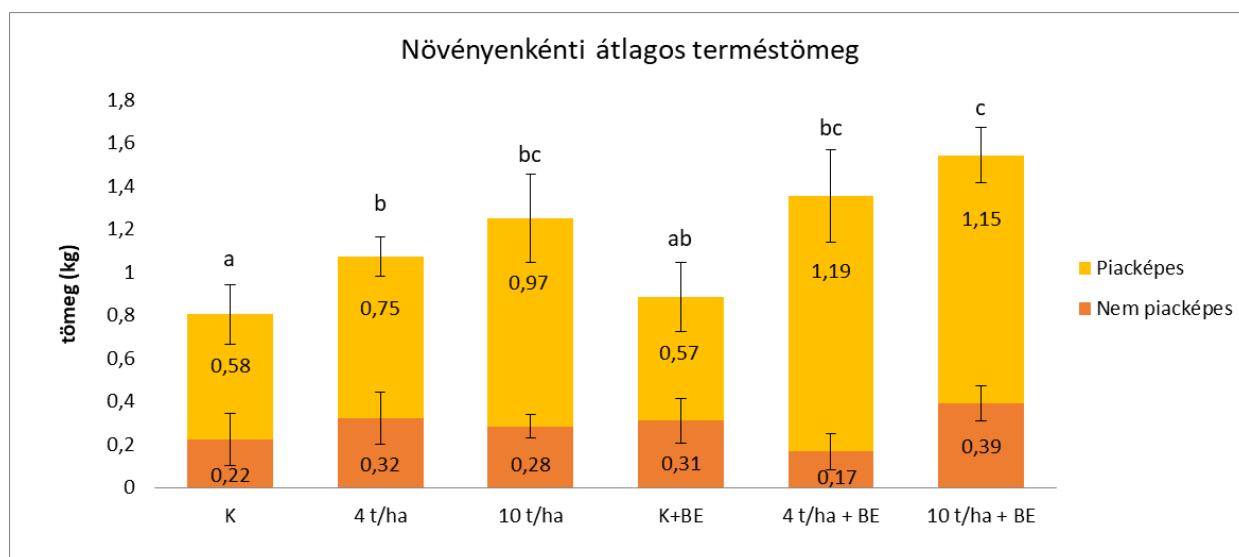


23. ábra. Növekvő bioszén dózisok és bioeffektor hatása: a) a Paradicsom, b) a Kukorica növény szárított biomassza tömegének alakulására szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2015, 2016.

Bioszén és bioeffektor kezelések hatása a növények terméshozamára

A 2015-ös szabadföldi paradicsom kísérlet bontásakor mért terméseredményeket a 24. ábra mutatja. A kiértékelés során 95 %-os szignifikancia szinten nem tapasztaltam statisztikailag alátámasztható különbséget a növénykezelések és a sérült, fertőzött, valamint a még éretlen (nem-piacképes) termés mennyisége között. Ökológiai gazdálkodásban, a kísérlethez használt „Mobil” fajta átlagos növényenkénti termésmérete 0,8 kg volt (piacképes+nem piacképes) a kezeletlen kontroll parcellában. Az általam felhasznált paraméteres próbákkal nem sikerült statisztikailag alátámasztani, ugyanakkor az *Alcaligenes* oltóanyag kezelés hatására, átlagosan 9 % százalékkal nőtt a növényenkénti terméshozam a két növényfaján, ami a baktérium enzimkiválasztási képességével lehet összefüggésben (24-25-ös ábrák). Meg kell jegyezni azonban, hogy ez a növekedés nem tekinthető szignifikánsnak, a kezeletlen kontroll csoporthoz viszonyítva. GAGNÉ és társai (1993) hasonló eredményt tapasztaltak paradicsomban, üvegházi kísérletben. Több PGPR rizobaktérium hatásosságának összehasonlításakor arra az eredményre

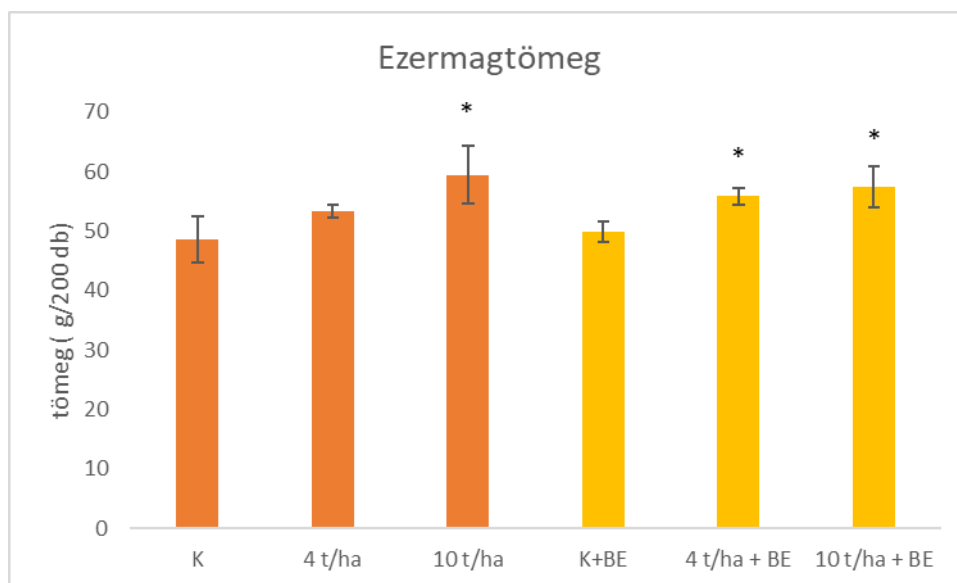
jutottak, hogy az inokulumok által produkált termésmennyiség-növekedés 5,6- és 18,2 % között alakult, ugyanakkor nem minden mikroba törzs esetében sikerült ezt a különbséget statisztikai próbákkal alátámasztani. A vegetatív biomassza tömeghez hasonlóan a termés vizsgálatokor is megfigyelhető volt a bioszén növekvő dózisaival 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 viszonyítva. További eredmény, hogy a BE-vel kezelt kontroll és a 4 t/ha bioszén dózis, valamint a 10 t/ha bioszén valamint a 4- és 10 t/ha B+BE kezelések között nem volt szignifikáns különbség. Ebből arra lehet következtetni, hogy bioszén alacsonyabb dózisainak alkalmazása egyes PGPR oltóanyagokkal helyettesíthető, ugyanakkor az oltóanyag hatásossága erősen termőhely és szervesanyag függő. Ez az eredmény, valamint az, hogy egyedül a 10 t/ha+BE kezelés eredményezett szignifikáns növekedést (szinergizmus) a termés mennyiségében a BE-vel kezelt kontroll növényekhez viszonyítva, a kijuttatott *Alcaligenes* törzs pozitív hatásaira enged következtetni ebben a termesztési kísérletben.



24. ábra. Paradicsom termésmennyiség alakulása bioszén dózisok és bioeffektor kombinációk hatására szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2015.

A 2016-os szabadföldi kukorica kísérlet bontásakor mért terméseredmények a 18. ábrán láthatók. A termésmennyiséget ezermagtömegben adtam meg kétszáz magra vetítve. 95 %-os szignifikancia szinten nem regisztráltam különbséget a bioeffektorral kezelt és a kezeletlen kontroll növények között. Szignifikáns különbséget tudtam kimutatni ugyanakkor a kontroll csoport, valamint a 10 t/ha bioszén és 4-, 10 t/ha bioszén+BE kezelések között. Mivel nem volt statisztikailag alátámasztható különbség a bioszén- és bioszén+BE csoportok között, ezért a növények biomassza mennyiségeit bemutató ábrához (23.b) hasonlóan, az ezermagtömeg

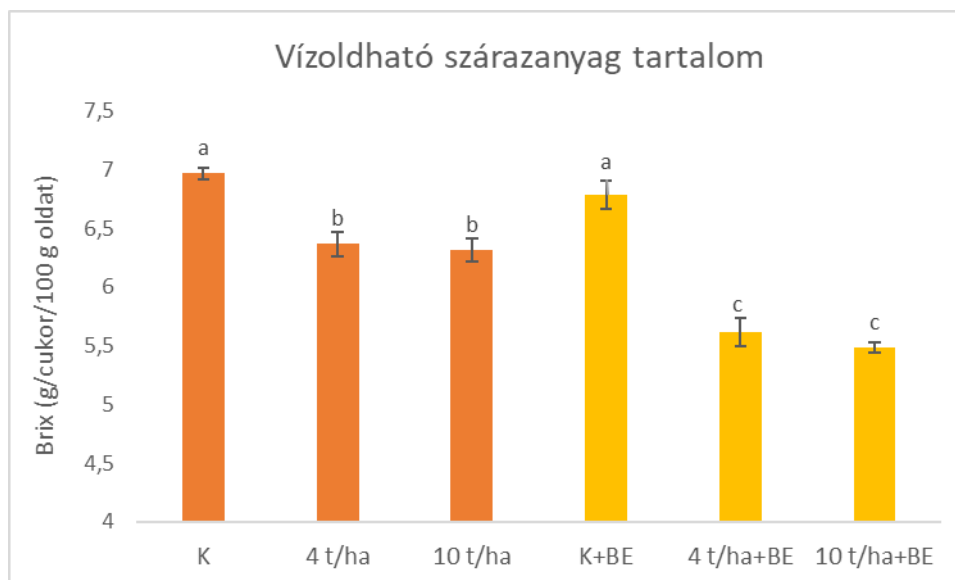
eredményekben sem jelenthető ki, a kijuttatott *Alcaligenes* pozitív hatása a kukoricatermés érésére.



25. ábra. Kukorica ezermagtömegének alakulása növekvő bioszén (t/ha) és bioeffektor (BE) kezelések hatására, szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2016.

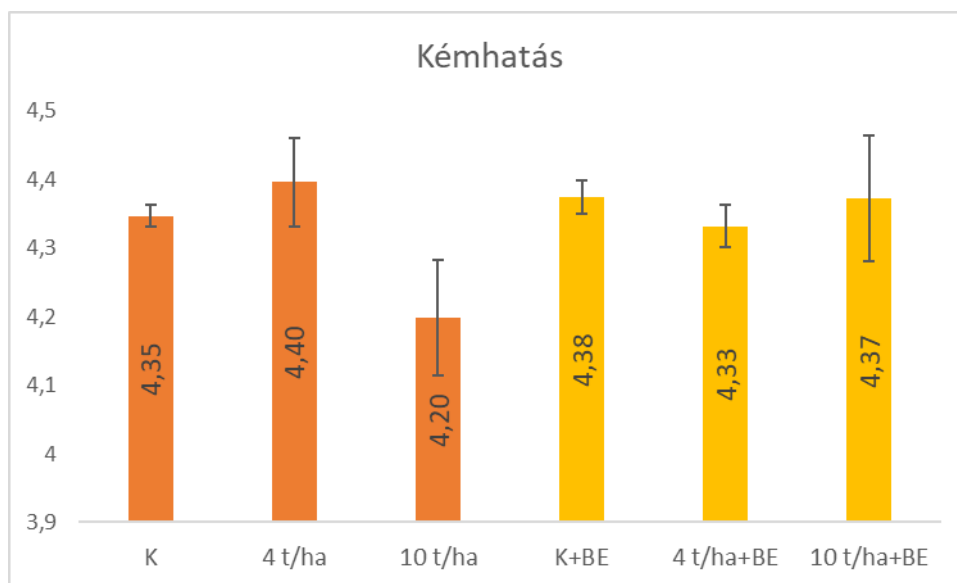
A paradicsom termés minőségi vizsgálatának eredményei

A paradicsom termés vizsgálatakor, a mennyiség mellett beltartalmi tulajdonságokat is mértem. Ezek közül, a termés vízdoldható szárazanyag tartalmát a 26. ábrán szemléltetem. 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 koncentrátum eléréséhez, vagyis annál nagyobb értéket képvisel (SZALÓKI-DORKÓ, 2016). A vízben oldható szénhidrátok jelentik az oldható szárazanyag-tartalmat ($^{\circ}$ Brix), amelynek jelentős része redukáló cukrokból, elsősorban szacharózból és szerves savakból áll. Ezek a cukrok „felelősek” a termés ízének kialakításáért. Az érett bogyó oldható szárazanyag-tartalma, mintegy 5-7,5 %-a a nyers tömegnek (QUADIR et al., 2006).



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

A vízoldható szárazanyag-tartalom vizsgálata során kiderült, hogy a kísérletben beállított bioszén és bioeffektor kezelések fajtán (*var. Mobil*) belül is képesek különbséget eredményezni. A kezelt- és kezeletlen kontroll csoportok között nem volt statisztikailag alátámasztható különbség. Ugyancsak nem regisztráltam szignifikáns különbséget a 4- és 10 t/ha bioszén csoportok és a 4- és 10 t/ha B+BE kezelések között. Ezzel szemben szignifikánsan alacsonyabb brix értékeket mértem a bioeffektorral is kezelt bioszén kezelések és az oltóanyag nélküli bioszén kezelések között. A szabadföldi paradicsom kísérlet bontásakor, mért növényenkénti termésátlag szoros ($-0,964^{**}$) negatív lineáris összefüggésben állt a termés vízoldható szárazanyag-tartalmával (15. táblázat). Ugyanerre az eredményre jutottak SHOKAT és társai (2011). Eredményeik alapján könnyen elérhető a bogyótömeg növelése víztartalom emelésével, ugyanakkor a Brix $^{\circ}$ szintézise ennél komplexebb folyamat, így a nagyobb bogyók alacsonyabb szárazanyag-tartalommal is rendelkeznek. SHOKAT és társainak 2011-es munkája alapján is megállapítható, hogy a vegetatív biomassza tömeg eredmények (23/a. ábra), valamint a paradicsom termésméret (24. ábra) és a termés vízoldható szárazanyag-tartalom (26. ábra) közötti negatív összefüggések a nem öntözött szabadföldi kísérletben jelzik a bioszén hatékony vízmegtartó képességét, ami a növény számára felvehető. A bioszén képes volt mérsékelni a csapadékszegény körülményeket, az így kialakult évjáráthatást (16/a. ábra). A paradicsom bogyók beltartalmának kémhatás eredményei a 27. ábrán kerülnek bemutatásra.

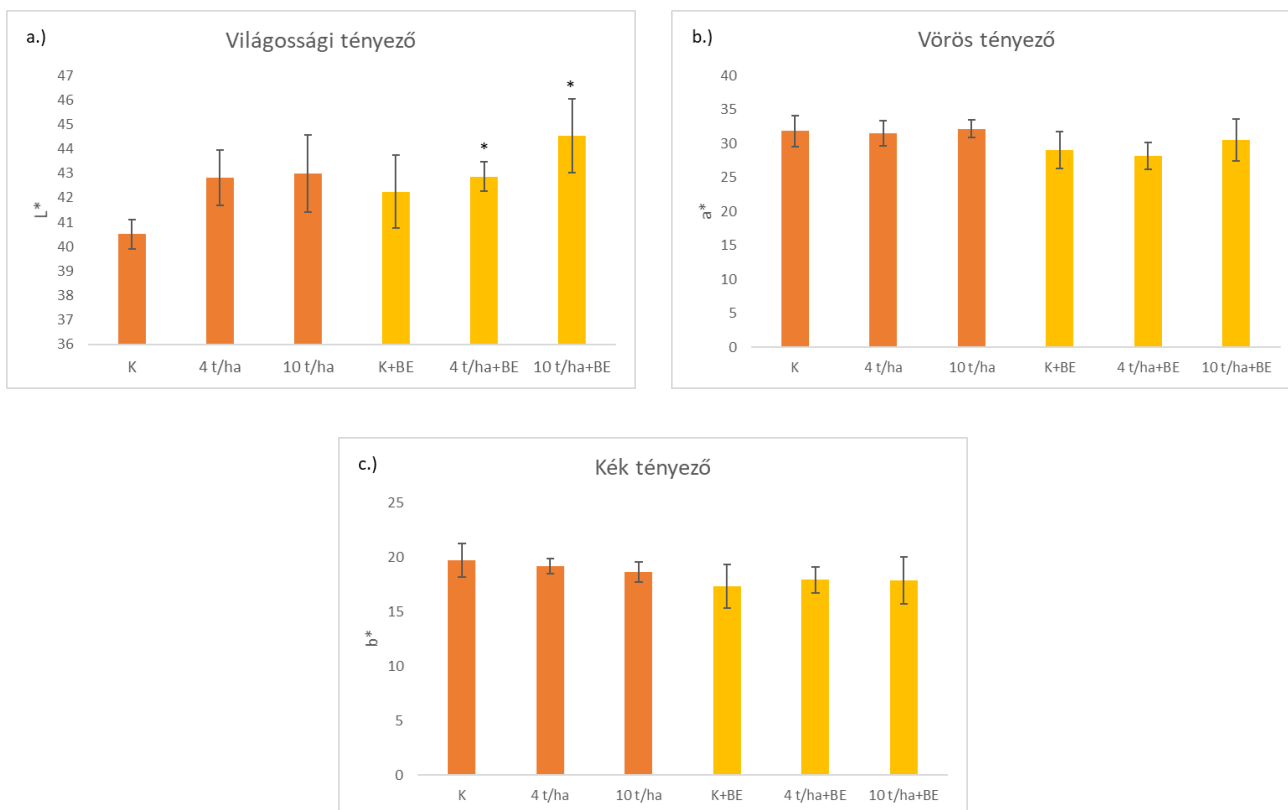


27. ábra. Paradicsombogyók kémhatásának alakulása különböző bioszén dózisok (t/ha) és bioeffektor (BE) kombinációk hatására szabadföldi kísérletben. Soroksár, 2015.

A szabadföldi kísérlet bontásakor a begyűjtött bogyók, 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 alakult.

A paradicsom-zúzalék színének összehasonlító értékelése

A paradicsom minták extraktumának színét (L^* , a^* , b^* koordinátáit) a 28. ábrán szemléltetem. Általános összefüggés, hogy magasabb L^* értékhez (világosabb színárnyalat), rendszerint magasabb a^* és kevesebb b^* érték (több piros és kevesebb kék színösszetevő) párosul.



28. ábra. Paradicsom termés-zúzalék színmérésének eredményei: a) világossági-, b) vörös-, c) kék tényező értékei szerint. Szabadföldi kísérletből származó minták különböző bioszén (t/ha) és bioeffektor (BE) kezelés-kombinációk hatására. Soroksár, 2015.

A vizsgálat során megállapítható, hogy az érési folyamat végére a minták színe az érettségi állapot előrehaladtával egyre intenzívebb és sötétebb volt. 95 %-os konfidencia intervallumbecsléssel, a világossági tényezőnél (L^*) szignifikáns növekedést regisztráltam a kezeletlen kontroll és a 4- valamint 10 t/ha+BE csoportok között (28/a. ábra). Ugyanakkor ezek a kezelések az *Alcaligenes* bioeffektorral kezelt kontroll csoporttal már nem mutattak különbséget. A vörös (a^*) és kék (b^*) értékek esetén nem regisztráltam különbséget az egyes kezelések hatására. 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 ($0,894^*$) kapcsolatban áll, az egy növényről lekerülő termés mennyiségével, valamint szoros negatív lineáris kapcsolatban ($-0,964^{**}$) az extraktum vízdoldható összes szárazanyag-tartalmával ($^{\circ}$ Brix) (16. táblázat). Tehát a kezelések pozitív hatást eredményeztek a teméstömegre, ugyanakkor ez a

mennyiségi növekedés rontotta a paradicsom bogyók élvezeti értékét. A világossági tényező (L*) átlagos értékei 40,51 és 44,52 között (28/a. ábra), az a* értékei 28,15 és 32,12 között (28/b. ábra), míg a b* értékei 17,33 és 19,70 (28/c. ábra) között változtak.

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

| | termés | brix | L* | a* | b* | hajtás+gyökér | DHA |
|---------------|---------|--------|-------|-------|-------|---------------|-----|
| termés | 1 | | | | | | |
| °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)

A 15. táblázatból az is kiderül, hogy a talaj dehidrogenáz enzim aktivitása pozitív lineáris kapcsolatban állt a vegetatív biomassa (hajtás+gyökér) tömegével (0,811*), a termés mennyiségével (0,769*) és a világossági tényezővel (0,792*).

4.6. 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 természetes boksa-típusú faszén előállításnál 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) tartalma meghaladta az 1 mg/kg-os határértéket a PAH-19 összetevőkre vonatkoztatva, 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 az 1 mg/kg-os határértéket kell figyelembe venni.

3. Tenyészedény kísérlettel megállapítottam, hogy az 1 m/m %-os bioszén dózis eredményezte a legnagyobb növekedést a paradicsom és kukorica növények tápanyagfelvételére, valamint szignifikánsan magasabb dehidrogenáz- és az fluoreszcein diacetát enzimaktivitást eredményezett gyengén humuszos homoktalajon. A tesztnövényes kísérletekben, a talajban lezajló enzimes katabolikus folyamatok intenzitása pozitív összefüggésben állt a kitenyészhető aerob- és fakultatív anaerob, *Pseudomonas*- és a fonalas gomba biomassza tömeggel, valamint arányos volt a növények kálium és magnézium felvételével.
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 szinergizmust regisztráltam a bioszén+bioeffektor oltás kombinált alkalmazásakor, addig a kukorica növény fejlődésére a mikrobiális oltóanyagként használt *Alcaligenes* izolátum nem volt közvetlen hatással.
5. A termés oldott szárazanyag tartalma és színvizsgálata során kimutattam, hogy a megnőtt bogyóméret nem párosult, arányos cukor tartalommal, így annak élvezeti értéke csökkent. Megállapítottam, hogy a növényi eredetű bioszén javította a gyengén humuszos homoktalaj vízmegtartó képességét, ami így pozitív összefüggésben állt a paradicsom átlagos bogyóméretével.
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 termés hozamára.

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 nemzetközi szakirodalomban változatos kép alakult ki a pirolízistermék használhatóságáról. Kijelenthető, hogy az eddigi kutatási eredmények bizonyos pontokon ellentmondásosak a talajra és a növényekre gyakorolt hatásokat illetően. További akadályt jelent a bioszénrel kapcsolatos szaktudás sokrétűsége, a rendszerezés hiánya, az eltérő éghajlati övön, talajtípuson és növényfajtákon végzett kutatási eredmények összehasonlításának a nehézsége és a metaanalízisre épülő eredmények teljes hiánya.

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. Mérési eredményeim alapján, a bioszén nem okozott akkora eltolódást a talaj kémhatásában, ami korlátozta volna a növények tápanyagfelvételét. A bioszén felhasználás dóziszfüggő optimuma, különbözött a növényi tápanyagfelvételben és a vizsgált talaj biológiai mutatóiban. Míg a tápanyagfelvétel általában 1 tömegszázalékos dózison tetőzött, addig a talaj kataláz enzim aktivitásának maximuma ennél magasabb dózison, 2,5 %-on volt megfigyelhető. Ennek oka valószínűleg a bioszén jó vízmegtartó 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 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 tartozónak bizonyult. A sziderofor-termelő baktériumokról köztudott, hogy kelátok révén veszik fel a Fe^{3+} elemet és ezek a kelátok biztosítják, hogy más mikroszervezetek számára a vas ne legyen felvehető és hasznosítható, így annak a sejtbe való transzportja is megghiúsul. A szideroforok ezzel a mechanizmussal biokontroll szerepet töltenek be a növénypatogén gombák elleni védekezésben. 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.

Doktori kutatásom eredményei alapján, a következő, további kutatási lehetőségekre is lehetőséget adó javaslatokat teszem:

1. A bioszén felhasználás várható hatásai, igen sokrétűek, mivel maga a bioszén is változatos minőségi tulajdonságokkal rendelkezik. Az eredmények általánosításához feltétlenül szükséges az előállítási technológia standardizálása és az azzal összefüggő használatok pontosítása.
2. Mivel a bioszén akár húsz éves időintervallumban is folyamatosan képes megkötni a talaj szervetlen tápanyagait és lassítani a szerves összetevők átalakulásait, ezért széleskörű felhasználása előtt hosszú távú tartamhatás kísérletekre alapozott eredményekre van szükség.
3. Az eredmények bizonyították, hogy növény-specifikus, többkomponensű mikrobiális oltóanyagok felhasználásával növelhető a növénytermesztés biztonsága és a bioszénnel történő kombinációk is perspektivikusak. A felhasználás optimalizálásához azonban a mikrobiális törzsekre, fajokra történő válaszreakciók vizsgálatára van szükség. et igényel.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Terra Preta („Fekete Föld”) talaj Dél-Amerikában az Amazonas folyó vízgyűjtő területén található. Széntartalma a környező talajokéhoz viszonyítva elég nagy, ennek oka az ott található nagy mennyiségű teljesen, vagy részben lebomlott, illetve a nagy hőmérséklet, kedvező talajnedvesség és biológiai aktivitás miatt humifikálódott főleg növényi eredetű biomassza. A „Fekete Föld” szervesanyag tartalma kalciumban, magnéziumban, valamint mikroelemekben egyaránt gazdag. Ebből a felismerésből indult el az a kutatási, alkalmazási irány, hogy nem csak a természeti úton keletkezett, hanem az ipari, mesterséges folyamatokkal előállított bioszén is alkalmas lehet a talajok termékenységének a javítására. Tulajdonságait tekintve mind az úgynevezett „faszén”, mind az ipari, pirolízisnek nevezett folyamatokkal előállított „bioszén” egy finomszemcsés, erősen porózus szén-forma, melynek egységnyi tömegére eső felülete igen nagy (eléri akár az 5000 m²/g értéket is). Az előállítás során alkalmazott, 500 °C-nál is magasabb hőkezelés hozzájárul a bioszén (piroszén) nagy fajlagos felületéhez, ezáltal olyan jellegzetes képességeinek kialakításához, mint a fizikai-kémiai folyamatok katalizátora. Mivel szerkezetileg intakt, így hosszú ideig képes nagyobb változások nélkül a talajban maradni. Míg a nyers szerves anyagok tápanyagként szolgálnak a növények és talaj mikroorganizmusai számára, addig a bioszén katalizátorként működik, fokozva a növények tápanyagfelvételét és a talaj vízmegtartó képességét. Ipari előállítása során az alapanyag szerkezete alakítja ki a bioszén főbb kémiai jellemzőit. Felületének nagysága és porozitása pedig a nyersanyag pirolízis során fellépő tömegvesztésével hozható összefüggésbe.

Munkám során tenyészedényes és szabadföldi kísérletekben vizsgáltam a különböző dózisu, bioszén minták és egy növény-növekedés szerkentő, saját izolátumú *Alcaligenes* törzs egyedüli és kombinált hatásait kedvezőtlen vízgazdálkodással rendelkező, gyengén humuszos homoktalaj egyes fizikai-, kémiai- és biológiai paramétereire.

A kutatás két részből és két ütemből állt. Szabadföldi és tenyészedényes kísérletekben az első évben paradicsomot (*Solanum Lycopersicum* L. var. Mobil) használtunk, míg a második évben kukorica (*Zea mays* L.) FAO 370-es DKC 4490 hibrid kísérleti növényeken teszteltem a növény növekedés mértékét, minőségét és ezzel párhuzamosan a talajtulajdonságok alakulását. Szabadföldi kísérletben a bioszén dózist 4- és 10 t/ha mennyiségben forgattuk be a talaj felső 20 centiméterébe arányosított kis parcellákban. Az egyes dózisokat vizsgáltuk önmagukban, illetve bioeffektor oltóanyag (BE) kombinációban. Tenyészedény kísérletben a bioszén dózisokat, a bemért talaj 0,5-; 1-; 2,5-; és 10 %-a között adagoltuk a talajhoz, kezelésként 8 párhuzamos ismétlésben. A bioeffektor kezeléseket kezdetén 5 cm³ oltóanyaggal, 1,5×10⁸ sejt/cm³ titer

mennyiséggel oltottuk be a vetőmagokat. Bioeffektornak egy saját izolálású vaskelát-képző baktérium törzset használtunk, amelyet genetikai vizsgálatokkal *Alcaligenes* nemzetségbe tartozó fajnak azonosítottunk.

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 tartottuk a talaj víztartalmát a teljes szántóföldi vízkapacitás százalékában. A rhizoszférából izolált talaj mikrobiális enzimaktivitását a dehidrogenáz- (DHA) és a fluoreszcein diacetát (FDA) enzimek mérésével követtem nyomon. A kitenyészhető mikroorganizmus csoportok közül vizsgáltam a mezofil aerob- és fakultatív anaerob baktériumok, és a *Pseudomonas* sp. genus, valamint a fonalas gombák sejtszám-alakulását határhígítási módszerrel. A termés-mennyiségi vizsgálatok mellett, paradicsomnál a bogyók oldott szárazanyag tartalmát (Brix-fokát) és színanyagát is vizsgáltam. A tesztnövények levél- és szár-maradványaiból, az ott felhalmozódott tápelemek mennyiségét atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) mértem.

Vizsgálataim alapján az ipari technológiával előállított bioszén kockázata két fő problémakört érint:

- 1) a bioszén az előállítás során PAH vegyületekkel szennyeződhet, ami csökkenti a termékek talajokban történő felhasználhatóságát,
- 2) az előállítás során, a bioszénben megtalálható tápanyagok koncentrációja sokszorososa lehet a kiindulási alapanyagénak, amit az alkalmazásnál szintén célszerű figyelembe venni.

A bioszén tápelem tartalmára és tápelem-megkötő képességére a következők mondhatók el. Az alapanyagban előforduló elemek nagy része a bioszénben koncentrálnak, amit a szakirodalom a pirolízis során bekövetkező térfogat csökkenéssel hoz összefüggésbe (Li et al., 2016). Számolni kell ezen túl az elégtelen hőbontás következtében visszamaradt policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) jelenlétével is. Az Európai Uniónak jelenleg nincsen egységes jogi szabályozása a kereskedelmi forgalomban kapható bioszén termékek minőségi elvárásairól, így ezen kritériumrendszer kidolgozása tagállami hatáskörbe tartozik. Magyarországon a 129/2007-es talajvédelmi törvény és 36/2006. (V.18.) -os FVM rendeletben szabályozzák a terméskövelők kijuttatásának feltételeit. Bioszén hozzáadásával megnő a talaj adszorpciós kapacitása, negatív töltése következtében pedig fokozódik annak a kation megkötő képessége (CEC), így javulnak a talaj tápanyag- és vízmegkötő tulajdonságai. A bioszén dózis növekedésével a kémhatás lúgos irányba tolódik, ami egyes tápelemek felvételében (foszfor, mangán, cink), ahol az oldhatósági körülmények dominálnak, hiánytünetet eredményezhet a növényekben. A talajoknak e tulajdonságai kertészeti- és mezőgazdasági szempontból kulcsfontosságúnak tekinthetők. A bioszén edafonra kifejtett hatásának legideálisabb indikátorát kutatva összehasonlítottam a dehidrogenáz- (DHA) és a fluoreszcein diacetát (FDA) enzimek kapcsolatát több talajkémiai és -

biológiai változóval. Megállapítottam, hogy a DHA több paraméterrel is, így pl. a mezofil aerob- és fakultatív anaerob-, *Pseudomonas*-, fonalas gomba sejtszámmal, valamint a kálium és a magnézium tápelemekkel mutatott pozitív lineáris kapcsolatot. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy az alacsonyabb bioszén dózisok alkalmazása az általunk izolált *Alcaligenes* nemzetségbe tartozó talajbaktérium oltóanyaggal helyettesíthető, illetve a két paraméter kombinálása is kedvező hatású.

A bioszén felhasználás várható hatásai, igen sokrétűek, mivel maga a bioszén is változatos képet mutat összetételben, minőségben, előállítás módjában és számos egyéb tulajdonságban. Ennél fogva **az eredmények általánosítása nem javasolt**. A hatások csak adott esetben, adott körülmények között lehetnek érvényesek. Ebből következik, hogy felhasználása jelenleg, csak erősen ellenőrzött körülmények között alkalmazható biztonságosan. Széles körű felhasználása előtt hosszú távú 5-10 éves tartamhatás kísérletekre van szükség. Ilyen kísérletek Magyarországon a Szent István Egyetem, soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában is zajlanak.

A bioszén kutatás multidiszciplináris terület, amely környezettudományi, mikrobiológiai és természetstechnológiai vizsgálatokat és azok összetett értékelését egyaránt igényli. Eredményeim alapján kijelenthető, hogy a növényi rhizoszféra kiemelt vizsgálata a bioszén felhasználással kapcsolatosan jelentős kérdés, hiszen a szerves anyagok mineralizálásában és a növényi tápanyag-ellátásban a mikroorganizmusok kiemelkedő szerepet töltenek be, hatásuk figyelembevétele nem nélkülözhető.

7. SUMMARY

The **Terra Preta soil** is located in South America around the Amazon River. Its carbon content is higher than the adjacent soils, due to the high levels of broken plant-biomass-content. These „black” soils are extremely rich in elements like carbon (C), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) and Phosphorus (P). Regarding this discovery, a new research direction and topic was born, which aim is to create **biochar products** by controlled industrial processes from various biomass wastes of using reductive, oxygen-free technology, called **pyrolysis**. The quality of the traditional charcoal as well as the industrial produced biochar is being a highly porous carbon product, which surface layer and area is relatively high, can reach the 5000 m²/g biomass. Those biochar products are very stable and almost recalcitrant for extended periods, without significant structural changes and therefore might be able to catalysing key-important effects on several soil physical-chemical parameters. It means that, while the nutrient content of biochars are able to support the plants and the soil biota, still the biochar might adsorb the soil nutrients, which are becoming non-available for the plants at certain periods in the low-quality soils, investigated. Under the industrial production, the initial raw materials can be in strong relation with the formation of characteristics of the biochar. The size and porosity of its surface correlated with the mass loss of the raw materials during the pyrolysis.

My aim was to study a plant-coal biochar and a plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strain and its combination effects in a low humidity sandy soil, to its physical-, chemical- and biological characteristics. The research was conducted in pot and plot plant experiments, of using 2 type of test-plants, such as the **tomato (*Solanum Lycopersicum L. var. Mobil*)** in the first year and **maize (*Zea mays L.*)** FAO 370 DKC 4490 hybrid in the second year. I tested the growth and quality of the plants in parallel with several soil characteristics. In the field experiment, the biochar was rotated into the upper 20 cm layer of the soil, of using 4- and 10 t⁻¹ doses. The different doses were tested as single application and in combination with a bioeffector inoculum (BE). In the pot experiments, the following biochar doses were applied: 0- (as control), 0.5-; 1-; 2.5-; 5- and 10 % of the soil (w/w %). There were eight replicates per treatment. At the beginning of the bioeffector treatments, the seeds were inoculated with five cm³ of inoculums, which concentration was 1.5x10⁸ cells/cm³ titer. Regarding the bioeffectors inoculation, I was using siderophor-producing, chelator bacteria, as my own isolate. The bacterium was identified genetically as *Alcaligenes* genus (99%). In the light room pot experiment, 24 °C daytime (14 hours, 14000 LUX), 18 °C night (10 hours) temperature were set and the water content of the soil was maintained at 60% as a percentage of total field capacity. The total microbial enzymatic

activity was measured by the Dehydrogenase- (DHA) and Fluorescein diacetate (FDA) methods. The numbers of different countable microorganism groups, such as total aerobic and anaerobic bacteria, *Pseudomonas* genus and microscopic fungi were measured by the Most Probable Number (MPN) method. In addition to the quantitative yields, in the tomato experiment, I examined the dissolved dry matter content (Brix) and the colour of the fruit pulps. The amount of nutrients uptake by the plants, the collected leaf and stem residues of the plants was measured by atomic absorption spectrophotometer (AAS).

Based on the research, the main risks of the biochar products of the various industrial technologies are covering two main directions:

- 1) The risk of the accumulation polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), and the
- 2) The risk of adsorbing nutrients in the low quality soils, which might make an obstacle of the proper nutrient availability of crops in arable soils.

Most of the compounds, originating in the raw materials are concentrating in the products, which is the outcome of the volume reduction under the pyrolysis processes (Li et al., 2016). It should be also noted, that all the negative biochar quality is being in relation with the insufficient heat dissipation. Under the process polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) can remain in the products, showing of the insufficient heat dissipation. There is a Hungarian standard and a decision of the Hungarian Ministry of Agriculture and Rural Development (36/2006.V.18.FVM) about the limits of biochar. Furthermore, the Hungarian soil conservation and protection law (129/2007) has also stated that caution is needed at any biochar products when used them potentially in the soils. The PAHs concentration in biochar treated soils cannot exceed the permissible levels of 1 mg/kg on a dry soil basis. The biochar addition increases the adsorption capacity of soils, which improves the cation exchange capacity (CEC), therefore increased nutrient-water absorption had been also observed. With the increasing biochar doses, the soil pH shifted into the alkaline direction, which can prevent the plants to absorb some macro-, meso- and micro-nutrients, more particularly the phosphorus, manganese, zinc...etc. These properties of the soils are considered to be of key important issue for the horticulture and agriculture. Considering the Dehydrogenase- (DHA) and Fluorescein diacetate (FDA) assessment methods, the DHA activity was more effective, it had been in positive linear correlation with total aerobic and anaerobic bacteria, *Pseudomonas* genus and microscopic fungi and with the potassium and magnesium nutrients in both of plant measurements. Based on my study, I found that, the lower biochar doses application could be replaced by effective PGPR soil bacterial inoculums at certain soils and at certain soil-plant conditions.

The expected effects of biochar application are very diverse, as the biochar, itself has a great variability in composition, in quality, in the production methods and in many other properties.

Therefore, generalization of the results is not really recommended. Effects may only be valid and applicable under certain circumstances. It follows that its use can only be safely under strongly controlled conditions. Before any general application, a long-term (5-10 year-long at least) experiments are required. Such as which is under process in Hungary, at the Szent István University, Experimental and Research Farm in Soroksár. The biochar research is a multidisciplinary field, which requires several knowledge in environmental science, microbiology and cultivation technologies. Based on the results of this study, it can be stated that the use of biochar in the rhizosphere is a crucial issue and it can be in relation with the beneficial and prominent effect of microorganisms in the mineralization of organic matter.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- Abdul J.C, Manivannan P, Sankar B, Kishorekumar A, Gopi R, Somasundaram R, Panneerselvam R (2007): *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60: 7-11 pp.
- Aciego J.C, Brookes P.C. (2008): Relationships between soil pH and microbial properties in UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:1856-1861 pp.
- Alenkina I.V, Oshtrakh M.I, Tugarova A.V, Biró B, Semionkin V.A, Kamnev A.A (2014): Study of the rhizobacterium *Azospirillum brasilense* Sp245 using Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution: Implication for the analysis of ferritin-like iron cores. *Journal of Molecular Structure*, 1073:181-186 pp.
- Altschul S.F, Madden T.L, Schäffer A.A, Zhang J, Zhang Z, Miller W, Lipman D.J (1997): Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25:3389-3402 pp.
- Ameloot N, Graber E, Verheijen F.G.A, De Neve S (2013): Interactions between biochar stability and soil organisms: Review and research needs. *European Journal of Soil Science*, 64: 379–390 pp.
- Amonette J.E, Joseph S (2009): Characteristics of biochar: microchemical properties. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan. London. 33-52 pp.
- Angelini J, Castro S, Fabra A (2003): Alterations in root colonization and nodC gene induction in the peanut-rhizobia interaction under acidic conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41:289-294 pp.
- Asai H, Samson B. K, Stephan H. M, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa, T., Horie T (2009): Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos. *Field Crops Research*, 111:81–84 pp.
- Aseri G.K, Tarafdard J.C (2007): Fluorescein Diacetate: A Potential Biological Indicator for Arid Soils. *Journal Arid Land Research and Management*, 20:87-99 pp.
- Azcón R, Medina A, Roldán A, Biró B, Vivas A (2009): Significance of treated agrowaste residue and autochthonous inoculates (arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus cereus*) on bacterial community and phytoextraction to remediate soils contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 75:327-334 pp.
- Balázsy Á, Sárdi K (2011): A tápanyagellátás, a száraztömeg és a növényi K-tartalom összefüggései sörárpánál. *Növénytermelés*, 60:1-19 pp.
- Balázsy S (1994): *Zöldségtermesztők kézikönyve*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 694 p.
- Barber S.A, Olson R.A (1968): Fertilizer use on corn. In: *Changing Patterns in Fertilizer Use*. Soil Science Society of America Journal, Madison, Wisconsin. 163-168 pp.
- Barral M.T., Paradelo R, Moldes A. B, Dominguez M, Diaz-Fierros F (2009): Utilization of MSW compost for organic matter conservation in agricultural soils of NW Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 53:529-534 pp.
- Beczner J, Biró B, Korbász M, Jankó Sz (2004): A talaj mint a növényi eredetű élelmiszerek mikrobás szennyezettségének a forrása. *Konzervéjság*, 3:81-84 pp.
- Beneduzi A, Ambrosini A, Passaglia L-M.P (2012): Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology* 35:1044–1051 pp.

- 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. *Journal of Microbiological Methods* 103:124-130 pp.
- Bernal M.P, Albuquerque J.A, Moral R (2009): Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment - A review. *Bioresource Technology*. 100:5444-5453 pp.
- Bhattacharyya P.N, Jha D.K (2012): Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28:1327-1350 pp.
- Bihari Z, Gyüre P, Antal Zs (2011): Természetvédelmi ökológia. Debreceni Egyetem. Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma. 60 p.
- Birk J.J, Steiner C, Teixeira W.C, Zech W, Glaser B. (2009): Microbial response to charcoal amendments and fertilization of a highly weathered tropical soil. In: Woods W.I. et al. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision*. Springer, Berlin. 309-324 pp.
- Biró B, Köves-Péchy K, Szili-Kovács T, Szegi J (1993): Effect of Fertilizer on spontaneous *Rhizobium* infection in Hungarian soils. *Agrokémia és Talajtan*, 42:207-211 pp.
- Biró B, Vörös I, Köves-Péchy K, Szegi J (1993): Symbiont effect of *Rhizobium* bacteria and VAM fungi on *Pisum sativum* in recultivated mine spoils. *Geomicrobiology Journal*, 11:275-284 pp.
- Biró B (2002): Talaj és rhizobiológiai eszközökkel a fenntartható növénytermesztés és környezetminőség szolgálatában. *Acta Agronomica Hungarica*, 50:77-85 pp.
- Biró B, Anton A (2003): Génmódosított mikrobiális oltóanyagok és növények alkalmazásának európai jogszabályai. *Agrokémia és Talajtan*, 52:487-492 pp.
- Biró B, Villányi I, Füzy A, Naár Z (2005): Baktériumok és gombák kolonizációja génmódosított (Bt-) és izogénes és kontroll kukorica rhizoszférájában. *Agrokémia és Talajtan* 54:189-203 pp.
- Biró B, Szili-Kovács T, Anton A (2010): A rekultivációtól a remediációig. *Agrokémia és Talajtan*, 59:409-422 pp.
- Biró B, Domonkos M, Kiss E. (2012): Cathabolic FDA microbiological activity as site-dependent monitoring tool in soils of an industrial town. *International Review of Applied Science and Engineering*, 3:1-6 pp.
- Biró B, Horváth N, Matics H, Domonkos M, Malov X (2013): Enhanced degradation of deicing fluids in soils and soil-plant systems by improving soil nutrient status and quality. In: *Proc. of 12th Alps-Adria Sci. Workshop Opatija, Doberdò, Venezia (Croatia, Italy)*, Növénytermelés, 62:393-396 pp.
- 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*: 9-18 pp.
- Biró I, Németh T, Takács T (2009): Changes of parameters of infectivity and efficiency of different *Glomus mosseae* AM fungi strains in Cadmium-loaded soils. *Comm. Soil Science and Plant Analysis*, 40:227-239 pp.
- Borriß R, Xiao-Hua C, Rueckert C, Blom J, Becker A, Baumgarth B, Fan B, Pukall R, Schumann P, Spröer C, Junge H, Vater J, Pühler A, Klenk H.P (2011): Relationship of *Bacillus amyloliquefaciens* clades associated with strains DSM 7T and FZB42T: a proposal for *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *amyloliquefaciens* subsp. nov. and *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* subsp. nov. based on complete genome sequence comparisons. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 61:1786-1801 pp.
- Blackwell P, Riethmuller G, Collins M (2009): Biochar application to soil. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London. 207–226 pp.

- Blackwell P, Krull E, Butler G, Herbert A, Solaiman Z (2010): Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertilizer use in SW Australia: an agronomic and economic perspective. *Australian Journal of Soil Research*, 48:531-545 pp.
- Blume H.P, Brümmer G.W, Fleige H, Horn R, Kadeler E, Kögel K.I, Kretschmar R, Stahr K, Wilke B.M (2016): *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*, Springer. 618 p.
- Brewer C.E, Unger R, Schmidt-Rohr K, Brown R.C (2011): Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *Bioenergy Research* 4:312-323 pp.
- Buzás I (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest. 232 p.
- Carletti S.M, Murry A, Lorente B.E., Rodríguez C.E.A, Puglia M.L (2006): Propagación de dos gramíneas ornamentales: *Muhlenbergia dumosa* y *Eustachys distychophylla* inoculadas con *Azospirillum brasilense*. In: UN La Plata, MAA, INTA San Pedro (eds) 3 Congress Argentine of floriculture and 8 National J of flowers. Buenos Aires. 380 p.
- Chan K.Y, Xu, Z (2009): Biochar: nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann J, Joseph S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, 67-84 pp.
- Chandra G (2005): *Organic manures*. Regional Centre of Organic Farming. 46 p.
- Chen B.L, Yuan M.X (2011) Enhanced sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil amended with biochar. *Journal of Soil and Sediments*, 11:62-71 pp.
- Cheng C.H, Lehmann J, Thies J.E, Burton S.D, Engelhard M.H (2006): Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37:1477–1488 pp.
- Clough T.J, Bertram J.E, Ray J.L, Condon L.M, O’Callaghan M, Sherlock R.R, Wells N.S (2010): Unweathered wood biochar impact on nitrous oxide emissions from a bovine-urine-amended pasture soil. *Soil Science Society of America Journal*, 74:852-860 pp.
- Cochran W.G. (1950): Estimation of bacteria densities by means of the most probable number. *Biometrics*, 6:105-116 p.
- Corbin J.D, Avis P.G, Wilbur R.B (2003): The role of phosphorus availability in the response of soil nitrogen cycling, understory vegetation and arbuscular mycorrhizal inoculum potential to elevated nitrogen inputs. *Water, Air, and Soil Pollution*, 147:141-161 pp.
- Covacevich F, Marino M.A, Echeverri C.A, H.E (2006): The phosphorus source determines the arbuscular mycorrhizal potential and the native mycorrhizal colonization of tall fescue and wheatgrass. *European Journal of Soil Biology*, 42:127-138 pp.
- Cox J, Downie A, Jenkins A, Hickey M, Lines-Kelly R (2012): *Biochar in horticulture: Prospects for the use of biochar in Australian horticulture*. Wollongbar. 104 p.
- Crombie K, Mašek O, Cross A, So S (2014): Biochar – synergies and trade-offs between soil enhancing properties and C sequestration potential. *GCB Bioenergy*, 7:1161–1175 pp.
- Csambalik L, Divéky-Ertsey A, Ladányi M, Orbán Cs (2014): Influence of abiotic disorders on nutritional values of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Analecta Technical Szegedinensia* 4:1-6 pp.
- Csapó J, Cs. Kiss Zs (2002): *Tej és tejtermékek a táplálkozásban*. Mezőgazda kiadó, Budapest. 464 p.
- Csiszár Á (2009): Allelopathic Effects of Invasive Woody Plant Species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 5:9-17 pp.
- Csizmarik G (2011): *Hidrobiológia*. Szent István Egyetem (TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyve). 77p.
- Demeyer A, Voumido Nkana J.C, Verloo M.G (2001): Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*, 77:287-295 pp.
- Dong Y.H, Xu J.L, Li X.Z, Zhang L.H (2000): AiiA, an enzyme that inactivates the acylhomoserine lactone quorum-sensing signal and attenuates the virulence of *Erwinia carotovora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97:3526-3531 pp.

- Downie A, Crosky A, Munroe P (2009): Physical properties of biochar. In 'Biochar for environmental management: Science and technology.' (Eds J Lehmann and S Joseph) Earthscan: London. Sterling, VA, USA. 13-32pp.
- Dudás A, Szalai Z, 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*, 15:1399-1418 pp.
- Dwivedi D, Johri B.N, Ineichen K, Wray V, Wiemken A (2009): Impact of antifungals producing rhizobacteria on the performance of *Vigna radiata* in the presence of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 8:559–570 pp.
- Elmer W.H, Pignatello J. J (2011): Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and *Fusarium* crown and root rot of asparagus in replant soils. *Plant Disease*, 95:960-966 pp.
- Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency (1993): EPA/600/R-93/089; ECAO-CIN-842
- Fekete I, Kotroczó Zs, Varga Cs, Hargitai R, Townsend, K, Csányi G, Várbiró G (2012): Variability of organic matter inputs affects soil moisture and soil biological parameters in a European detritus manipulation experiment. *Ecosystems* 15:792-803 pp.
- Fekete I, Varga C, Biró B, Tóth J.A, Várbiró G, Lajtha K, Szabó G, Kotroczó Z (2016). The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a Central European deciduous forest. *Plant and Soil*, 398:291-300 pp.
- Fekete I., Lajtha, K. Kotroczó, Zs., Várbiró G., Varga Cs., Tóth JA., Demeter I., Veperdi G., Berki I (2017): Long term effects of climate change on carbon storage and tree species composition in a dry deciduous forest. *Global Change Biology* 23(8): 3154-3168 pp.
- Feigl V, Anton A, Uzinger N, Gruiz K, (2012): Red mud as a chemical stabilizer for soil contaminated with toxic metals. *Water, Air, & Soil Pollution*, 23:1237-1247 pp.
- Filep T, Rékási M, Makó A (2015): Vörösiszappal szennyezett talajok kémhatása és savbázis pufferoló képessége barnaszéntartalmú talajjavító anyag alkalmazását követően. *Agrokémia és Talajtan*, 64:93-104 pp.
- Fülek Gy (szerk.) (2004): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. 714 p.
- Fülek Gy, Sárdi K (2014): Tápanyag-gazdálkodás mezőgazdasági mérnököknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 259 p.
- Füzy A, Biró B, Tóth T (2003): Növény–mikroba kölcsönhatások és néhány talajtulajdonság közötti összefüggés hazai szikeseken. *Természetvédelmi Közlemények*, 10:199-208 pp.
- Füzy A, Biró B, Tóth T, Hildebrandt J, Bothe H (2008): Drought, but not salinity determines the apparent effectiveness of halophytes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*, 165:1181-1192 pp.
- Füzy A, Bothe H, Molnár E, Biró B (2013): Mycorrhizal symbiosis affects on growth of chalk false-brome (*Brachypodium pinnatum*) are dependent on the environmental light regime. *Journal of Plant Physiology* 171:1-6 pp.
- France R. H (1913): *Das Edaphon*. München, 99 p.
- Gagné S, Dehbi L, Dominique L.Q, Cayer F, Morin J.L, Lemay R, Fournier N (1993): Increase of greenhouse tomato fruit yields by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated into the peat-based growing media. *Soil Biology and Biochemistry*, 25:269-272 pp.
- Gaur A, Adholeya A (2000): Effects of the particle size of soil-less substrates upon AM fungus inoculum production. *Mycorrhiza*, 10:43-48 pp.
- Głąb T, Palmowska J, Zaleski T, Gondek K (2016): Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* 281:11-20 pp
- Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W (2001): The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, special issue: 37-41 pp.

- Gomez-Eyles, J.L, Beesley L, Moreno-Jimenez E, Ghosh U, Sizmur T (2013): The potential of biochar amendments to remediate contaminated soils. *Biochar and soil biota*, 4:100-133 pp.
- Graber E.R, Harel Y.M, Kolton M, Cytryn E, Silber A, David D.R, Tsechansky L, Borenshtein M, Elad Y (2010): Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, 337:481-496 pp.
- Gross D.C, DeVay J.E (1979): Population dynamics and pathogenesis of *Pseudomonas syringae* in maize and cowpea in relation to the in vitro production of syringomycin. *Phytopathology* 67:475-483 pp.
- Grossman J.M, O'Neill B.E, Tsai S.M, Liang B, Neves E, Lehmann J, Thies J.E (2010): Amazonian anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy. *Microbial Ecol.* 60:192-205 pp.
- Gryndler M, Larsen J, Hrselova C.H, Rezaccova C.V, Gryndlerova C.H, Kuba C.J (2006): Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a longterm field experiment. *Mycorrhiza*, 16:159-166 pp.
- Györi Z, Györiné Mile I (2002): A kukorica minősége és feldolgozása Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 68 p.
- Hajagos A (2015): Az alany és a virágritkítás hatása a cseresznyefajták gyümölcsminőségére. PhD értekezés, Budapest.
- Hass A, Gonzalez J.M, Lima I.M, Godwin H.W, Halvorson J.J, Boyer D.G (2012): Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid Appalachian soil. *Journal of Environmental Quality*, 41:1096–1106 pp.
- Helyes L (2000): A paradicsom és termesztése. *Mezőgazda kiadó*. Budapest. 234 p.
- Hiltner L (1904): Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. *Arb DLG*, 98:59–78 pp.
- Horváth J (1999): A szántóföldi növények betegségei. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest. 329 p.
- Hunt J, Duponte M, Sato D, Kawabata A (2010) The basics of Biochar: A natural Soil Amendment. *Soil and Crop Management*, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 30:1-6 pp.
- IUSS Working Group (2014): World reference base for soil resources 2014 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *FAO*, Rome.
- Iwata T, Shiromo M, Doi Y (2002): Surface structures of poly[(R)-3-hydroxybutyrate] and its copolymer single crystals before and after enzymatic degradation with an extracellular PHB depolymerase. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 203:1309–1316 pp.
- Jakucs E., Vajna L. (2003): *Mikológia*. Agroiinform Kiadó, Budapest. 477 p.
- James A, Romesser D, O'Keefe P Induction of cytochrome P-450-dependent sulfonylurea metabolism in *Streptomyces griseolus*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 140:650-659 pp.
- Jin H (2010): Characterization of microbial life colonizing biochar and biochar-amended soils. PhD értekezés, Cornell University, Ithaca, NY.
- Johnson N.D, Liu B, Bentley B.L (1987) The effects of nitrogen fixation, soil nitrate, and defoliation on the growth, alkaloids, and nitrogen levels of *Lupinus succulentus* (*Fabaceae*). *Oecologia* 74:425-431 pp.
- Jones D.L, Edwards-Jones G, Murphy D.V (2011): Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43:804-813 pp.
- Junhui C, Xiaoyu L, Jinwei Z, Bin Zh, Haifei L, Zhongzhi C, Genxing P, Lianqing L, Jufeng Z, Xuhui Z, Jiafang W, Xinyan Yu (2013): Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71:33-44 pp.

- Kakar K, Nawaz Z, Cui Z, Almoneafy A.A, Ullah R, Shu Q.Y (2018): Rhizosphere-associated *Alcaligenes* and *Bacillus* strains that induce resistance against blast and sheath blight diseases, enhance plant growth and improve mineral content in rice. *Journal of Applied Microbiology*, 124:779-796 pp.
- Kamilova F, Okon Y, Weert S.D, Hora K (2015): Commercialization of Microbes: Manufacturing, Inoculation, Best Practice for Objective Field Testing, and Registration. In: Lugtenberg B (szerk.). *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*. Molecular Microbiology and Biotechnology. Leiden. 319-329 pp.
- Kardos L, Juhász Á, Palkó Gy, Oláh J, Barkács K, Zárny Gy (2011): Comparing of mesophilic and thermophilic anaerob fermented sewage sludge based on chemical and biochemical tests. *Applied Ecology and Environmental Research* 9:293-302 pp.
- Kaszab E (2010): A *Pseudomonas aeruginosa* környezetbiztonsági jelentősége antropogén hatás alatt álló közegekben. PhD értekezés, Gödöllő.
- Kátai J (2011): Alkalmazott talajtan. Egyetemi jegyzet, Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. 108 p.
- Killham K (1985): Physiological determination of impact of environmental stress on the activity of microbial biomass. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 38:283-294 pp.
- Kim E.J, Oh J.E, Chang Y.S, (2003): Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *Science of the Total Environment*, 311:177-189 pp.
- Kim J.K, Park K.J, Cho K.S, Nam S.W, Park T.J, Bajpai R (2005): Aerobic nitrification–denitrification by heterotrophic *Bacillus* strains. *Bioresource Technology*, 96:1897-1906 pp.
- Kirschweng B, Polyák P, Pukánszky B, Vörös Gy (2015): A poli(3-hidroxibutirát) hidrolitikus degradációja. *Polimerek*, 1:136-140 pp.
- Kocsis T, Biró B (2015a): Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok *Agrokémia és Talajtan*, 64:257-272 pp.
- Kocsis T, Biró B, Mátrai G, Ulmer Á, Kotroczó Zs (2016): Növényi eredetű bioszén tartamhatása a talaj szervesanyag-tartalmára és agrokémiai tulajdonságaira. *Kertgazdaság*, 48:89-96 pp.
- Kocsis T, Biró B, Ulmer Á, Mónika Sz, Kotroczó Zs (2018): Time-lapse effect of ancient plant coal biochar on some soil agrochemical parameters and soil characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:990-999 pp.
- Kolb S.E, Fermanich K.J, Dornbush M.E (2009): Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73:1173-1181 pp.
- Kotroczó Zs, Krakomperger Zs, Veres Zs, Vasenszki T, L. Halász J, Koncz G, Papp M, Tóth J.A. (2009): Talajlégzés vizsgálatok tartamhatású avarmanipulációs modellkísérletben. *Természetvédelmi közlemények*, 15:328-337 pp.
- Kotroczó Zs, Veres Zs, Biró B, Tóth J.A, Fekete I (2014): Influence of temperature and organic matter content on soil respiration in a deciduous oak forest. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3:303-310 pp.
- Ködöböcz L, Kárpáti É, Dusha I, Biró B (2005): Asszociatív nitrogén-kötő oltóanyag törzsek túlélőképességét befolyásoló tényezők két potenciális vívőanyagban. *Agrokémia és Talajtan*, 54:177-189 pp.
- Központi Statisztikai Hivatal Idősoros éves adatok – Mezőgazdaság, Földhasználat művelési ágak és gazdaságcsoportok szerint 1990–2017.
- Krull E.S, Baldock J.A, Skjemstad J.O, Smernik R.J (2009): Characteristics of biochar: organic-chemical properties. In: J. Lehmann and S. Joseph. (eds). *Biochar for Environmental Management*, ch. 4. London: Earthscan.

- Kumar P, Tarafdar J.C (2003): 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride (TTC) as electron acceptor of culturable soil bacteria, fungi and actinomycetes. *Biology and Fertility of Soils*, 38:186–189 pp.
- Kumar S, Jain M.C, Chhonkar P.K (1987): A note on the stimulation of biogas from cattle dung by addition of charcoal. *Biological Wastes*, 20:1209-1215 pp.
- Lane D.J. (1991): 16S/23S rRNA sequencing In E. Stackebrandt & M. Goodfellow (ed.), *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics*. John Wiley & Sons Ltd., London. 115–147 pp.
- Laird A.D (2008): The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Agronomy Journal* 100:178-181 pp.
- Lehmann J, Silva J.J.P, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B. (2003): Nutrient availability in archaeological anthrosol and ferralsol of Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249:343-357 pp.
- Lehmann J, Kern D, German L, Mccann J, Martins G.C, Moreira A (2003b): Soil fertility and production potential. In *Amazonian dark earths*. Springer Netherlands. 105-124 pp.
- Lehmann J, Rondon M (2006): Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N.T et al. (eds.) *Biological approaches to sustainable soil systems*. Taylor & Francis, Boca Raton. 517–530 pp.
- Lehmann J (2007): A handful of Carbon. *Nature*, 447:143-144 pp.
- Lehmann J, Rillig M.C, Thies J, Masiello C.A, Hockaday W.C, Crowley D, (2011): Biochar effects on soil biota. *Soil Biology and Biochemistry*, 43:1812-1836 pp.
- Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O’Neill B, Skjemstad J.O, Thies J, Luizão F.J, Petersen J, and Neves E.G (2006): Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70:1719-1730 pp.
- Liang B, Lehmann J, Sohi S.P, Thies J.E, O’Neill B, Trujillo L, Gaunt J, Solomon D, Grossman J, Neves E.G, Luizão F.J (2010): Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, 41:206-213 pp.
- Liao H, Lixiang C, Renduo Z (2014): Bacterial and fungal taxon changes in soil microbial community composition induced by short-term biochar amendment in red oxidized loam soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30:1085-1092 pp.
- Libisch B, French H K, Hartnik T, Anton A, Biró B (2012): Laboratory-scale evaluation of a combined soil amendment for the enhanced biodegradation of propylene glycol-based aircraft de-icing fluids. *Environmental Technology*, 33:717-724 pp.
- Liebig J (1840): *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.42117>
- Li Y, Liao Y, He Y, Xia Kun, Qiao S, Zhang Q (2016) Polycyclic aromatic hydrocarbons concentration in straw biochar with different particle size. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT). *Procedia Environmental Sciences*, 31:91 – 97 pp.
- Lin P, Munroe S, Joseph S, Kimber L, Van Zwieten (2012) Nanoscale organo-mineral reactions of biochars in ferrosol: an investigation using microscopy. *Plant and Soil*, 357:369-380 pp.
- Loch J, Nosticzius Á (2004): *Agrokémia és növényvédelmi Kémia*. Mezőgazda Kiadó. 407 p.
- Lugtenberg B (szerk.) (2015): *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*. Molecular Microbiology and Biotechnology. London. 435 p.
- Lynd R.L, Weimer J.P, Heber van Zyl W, Pretorius S.I (2002): *Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology*. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 66:506-577 pp.

- Madarász B, Jakab G, Tóth A. (2018): Facing to real sustainability - conservation agricultural practices around the world. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2): 975-976 pp.
- Magyar Tudományos Akadémia TAKI, Agrotopográfiai Adatbázisa (megtekintve 2017.10.06.)
- Magyar Szabványügyi Testület, Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Mikrobiológiai vizsgálatok, Hivatkozási szám - MSZ 21470-77:1988.
- Magyar Szabványügyi Testület, Szennyvíziszap vizsgálata. pH-meghatározás, Hivatkozási szám - MSZ 318-4:1979.
- Major J, Rondon M, Molina D, Susan J, Lehmann R, Lehmann J (2010): Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333:117-128 pp.
- Makoto K, Tamai Y, Kim Y.S, Koike T (2010): Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of *Larix gmelinii* seedlings. *Plant and Soil*, 327: 143-152 pp.
- Mann M.E, Kump L.R (2015): *Dire Predictions: Understanding Climate Change*. Second Edition. Pearson Education, Inc. (<https://www.e-education.psu.edu/meteo469/node/160>)
- Marosi S, Somogyi S (1990): Magyarország kistájainak katasztere I-II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 1023 p.
- Mikó P, Kovács G.P, Nagy L, Gyurocza Cs (2011): Másodvetésű zöld trágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen. *Növénytermelés*, 60:97-113 pp.
- Mikó P, Kovács G P, Percze A, Gyuricza Cs (2016): Effect of different N nutrient contents on biomass of green manure as second crop under unfavourable climate conditions in Hungary *Applied Ecology and Environmental Research*, 14:309-324 pp.
- Muhammad A, Muhammad I, Muhammad R, Kawsar A, Kamran S, IzharU.H, Shah F (2017): Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. *Field Crops Research*, 214:25-37 pp.
- Ochi (1987): Metabolic initiation of differentiation and secondary metabolism by *Streptomyces griseus*: significance of the stringent response (ppGpp) and GTP content in relation to A factor. *Journal of bacteriology*, 169:3608-3616 pp.
- Oguntunde P.G, Fosu M, Ajayi A.E, Van de Giesen N (2004): Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39:295–299 pp.
- Ogawa M, Okimori Y (2010): Pioneering works in biochar research, *Japan Australian Journal. Soil Research*, 48:489-500 pp.
- O'Neill B, Grossman J, Tsa M.T, Gomes J.E, Lehmann J, Peterson J, Neves E, Thies J.E (2009): Bacterial community composition in Brazilian Anthrosols and adjacent soils characterized using culturing and molecular identification. *Microbial Ecology*, 58:23-35 pp.
- Országos Meteorológiai Szolgálat, Éghajlat adatbázisa (megtekintve 2017.10.14.)
- Ördög V, Molnár Z (2011): *Plant Physiology*. Debreceni Egyetem, Nyugat Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem (TAMOP 4.2.5 Pályázat könyve) 199 p.
- Petrovickijné Angerer Ildikó (2009): Mikroorganizmusok herbicid-érzékenységének értékelése a klórszulfuron példáján. PhD értekezés, Gödöllő.
- Pietikäinen J, Kiiikkilä O, Fritze H (2000): Charcoal as a habitat for microbes and its effects on microbial community of underlying humus. *Oikos*, 89:231-242 pp.
- Prasad M, Tzortzakis N, McDaniel N (2017): Chemical characterization of biochar and assessment of the nutrient dynamics by means of preliminary plant growth tests. *Journal of Environmental Management*, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.020>

- Prost K, Borchard N, Siemens J, Kautz T, Séquaris J.M, Möller A, Amelung W (2013): Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. *Journal of Environmental Quality* 42:164-172 pp.
- Rajkovich S, Enders A, Hanley K, Zimmerman R.A, Lehmann J (2012): Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48:271–284 pp.
- Rakszegi M, Mikó P, Löschenberger F, Hiltbrunner J, Aebi R, Knapp S, Tremmel-Bede K, Megyeri M, Kovács G, Molnár-Láng M, Vida Gy, Láng L, Bedő Z (2016): Comparison of quality parameters of wheat varieties with different breeding origin under organic and low-input conventional conditions. *Journal of Cereal Science*, 69:297-305 pp.
- Raveendran K, Ganesh A, Khilar K.C (1995): Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel*. 74:1812-1822 pp.
- Ravensberg W.J (2015): Commercialisation of Microbes: Present Situation and Future Prospects. In: Lugtenberg B (szerk.). *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*. Molecular Microbiology and Biotechnology. Leiden University, Sylvius Laboratory. Leiden. The Netherlands. Springer. 309-319 pp.
- Rékási M, Uzinger N (2015): A bioszén felhasználásának lehetőségei a talaj tápanyag-utánpótlásában. *Agrokémia és Talajtan*, 64:239-256 pp.
- Rieder Á, Madarász B, Szabó J.A, Zacháry D, Vancsik A, Ringer M, Szalai Z, Jakab G (2018): Soil organic matter alteration velocity due to land-use change: a case study under conservation agriculture. *Sustainability*, 10 (4): 1-11 pp.
- Rousk J, Brookes P.C, Bååth E (2009): Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75:1589-1596 pp.
- Rousk J, Bååth E, Brookes P.C, Lauber C.L, Lozupone C, Caporaso J.G, Knight R, Fierer N, (2010): Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME*, 4:134-151 pp.
- Rillig M.C, Wagner M, Salem M, Antunes P.M, George C, Ramke H.G, Titirici M.M, Antonietti M (2010): Material derived from hydrothermal carbonization: effects on plant growth and AM fungi. *Applied Soil Ecology*, 45:238-242 pp.
- Sayyed R.Z, Gangurde N.S, Patel P.R, Josh S.A, Chincholkar S.B (2010): Siderophore production by *Alcaligenes faecalis* and its application for growth promotion in *Arachis hypogaea*. *Indian Journal of Biotechnology*, 9:302-307 pp.
- Schmidt B, Domonkos M, Şumalan R, Biró B (2010): Suppression of arbuscular mycorrhiza's development by high concentrations of phosphorous at *Tagetes patula* L. *Research Journal of Agricultural Science*, 44:156-162 pp.
- Schnürer J, Rosswall T (1982): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, 43:1256-1261 pp.
- Schwyn B, Neilands J.B (1987): Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, 160:47-56 pp.
- Sebők F (2016) Biomassza eredetű komposztok mikológiai elemzése. PhD értekezés, Gödöllő.
- Shokat S, Azhar F.M, Zia M.B (2011): Path coefficient analysis of total soluble solids in *Solanum lycopersicum* L. *The Nucleus*, 48:1-5 pp.
- Singh B.P, Hatton B.J, Singh B, Cowie A.L, Kathuria A (2010): Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, 39:1224-1235 pp.
- Sipos L, Orbán Cs, Bálint I, Csambalik L, Divéky-Ertsey A, Gere A (2017): Colour parameters as indicators of lycopene and antioxidant activity traits of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) *European Food Research and Technology*, 243:1-11 pp.

- Sivasakthi S, Usharani G, Saranraj P (2014): Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 9:1265-1277 pp.
- Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, and Bol R (2009): Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report. 64 p.
- Solaiman Z.M, Blackwell P, Abbott L.K, Storer P (2010): Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal colonization, growth and nutrition of wheat. *Australian Journal of Soil Research*, 48: 546-554 pp.
- Solomon D, Lehmann J, Thies J, Schäfer T, Liang B, Kinyangi J, Neves E, Petersen J, Luizo F. and Skjemstad J (2007): Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71:2285-2298 pp.
- Sommer G.S, Christensen L.M, Schmidt T, Jensen S.L (2013): *Animal Manure Recycling, Treatment and Management*, Wiley. 382 p.
- Sonenshein A.L, Hoch A.J, Losick R (1993): *Bacillus subtilis and Other Gram-Positive Bacteria: Biochemistry, Physiology, and Molecular Genetics*. ASM Press, Washington, DC. doi: 10.1128/9781555818388.ch27
- Spokas K.A, Reicosky D.C (2009): Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production. *Annals of Environmental Science*, 3:179-193 pp.
- Stefanovits P, Filep Gy, Füleky Gy (1999): *Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*. 470 p.
- Steiner C, Teixeira W.G, Lehmann J, Zech W, (2004): Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia e preliminary results. In: Glaser B, Woods W.I. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Explorations in Time and Space*. Springer, Berlin. 195-212 pp.
- Steiner C, Garcia M, Zech W, (2009): Effects of charcoal as slow release nutrient carrier on NPK dynamics and soil microbial population: pot experiments with ferralsol substrate. In: Woods W.I et al. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision*. Springer, Berlin. 325-338 pp.
- Sulzman E.W (2000): *The Carbon Cycle*, University Corporation for Atmospheric Research. 28 p.
- Szabó A (2008): *Bevezetés a mezőgazdasági mikrobiológiába*. Debreceni Egyetem. Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma. 288 p.
- Szalóki-Dorkó L (2016): *Fekete bodza színanyagok átfogó analitikai vizsgálata élelmiszer-technológiai eljárások során*. PhD értekezés, Budapest.
- Szegi J (1979): *Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek*, Mezőgazda kiadó, Budapest. 311 p.
- Szili-Kovács T, Zs. Oláh Á, Kátai J, Villábyi I, Takács T (2009): Talajbiológiai és talajkémiai változók közötti összefüggések néhány tartamkísérlet talajában. *Agrokémia és Talajtan*, 58:309-324 pp.
- Szili-Kovács T, Kátai J, Takács T (2011a): Mikrobiológiai indikátorok alkalmazása a talajminőség értékelésében. 1. Módszerek. *Agrokémia és Talajtan*, 60:273-286 pp.
- Szili-Kovács T, Szabó R, Halassy M, Török K, (2011b): Restoration of a sandy grassland by the application of various carbon sources promoting the immobilization of soil nitrogen. *Agrokémia és Talajtan*, 60: 255-266 pp.
- Taiz L, Zeiger E (2010): *Plant Physiology*. 5th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 690 p.
- Tanka P.P, Kerry B.W, Surya P.B, David J.M, Thi T.H.V, Robert J.M, Dragana S (2016): Biochar, Bentonite and Zeolite Supplemented Feeding of Layer Chickens Alters Intestinal Microbiota and Reduces *Campylobacter* Load. *PLoS ONE*11:e0154061. doi.org/10.1371/journal.pone.0154061
- Thalman A (1968): Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid. *Landwirtschaft. Forsch*, 21:249–258 pp.

- Thienemann H (1950): Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. - Die Biennengewässer 18. Stuttgart, 809 p.
- Thies J.E, Rillig M.C, Graber E.R (2015): Biochar effects on the abundance, activity and diversity of the soil biota. Biochar for environmental management: Science, technology and implementation, 2:327-389 pp.
- Timmusk S (2003): Mechanism of action of the plant growth promoting bacterium *Paenibaccillus polymyxa*. Acta Universitatis Upsaliensis, 40 p.
- Tanio T, Fukui T, Shirakura Y, Saito T, Tomita K, Kaiho T, Masamune S (1982): An Extracellular Poly (3-Hydroxybutyrate) Depolymerase from *Alcaligenes faecalis*. The FEBS Journal, 12:71-77 pp.
- Toscano G, Colarieti M.L, Anton A, Greco G, Biró B (2014): Natural and enhanced biodegradation of propylene glycol in airport soil. Environmental Science and Pollution Research, 21: 9028-9035 pp.
- Tóth J.A, Nagy P.T, Krakomperger Zs, Veres Zs, Kotroczó Zs, Kincses S, Fekete I, Papp M, Mészáros I, Viktor O (2013): The effects of climate change on element content and soil pH (Síkfőkút DIRT project, Northern Hungary). In: J. Kozak et al. (eds.), The Carpathians: Integrating nature and society towards sustainability. Environm. Sci. Engineer., Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 77-88 pp.
- Treseder K.K, Allen M.F (2002): Direct nitrogen and phosphorus limitation of arbuscular mycorrhizal fungi: a model and field test. New Phytologist, 155: 507-515 pp.
- Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan K.Y, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A (2010): Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and soil, 327:235-246 pp.
- Veres Zs, Kotroczó Zs, Magyaros K, Tóth J.A, Tóthmérész B (2013): Dehydrogenase Activity in a Litter Manipulation Experiment in Temperate Forest Soil. Acta silvatica et lignaria hungarica: an international journal in forest, wood and environmental sciences, 9:25-33 pp.
- Veres Zs, Kotroczó Zs, Fekete I, Tóth J.A, Lajtha K, Townsend K, Tóthmérész B (2015): Soil extracellular enzyme activities are sensitive indicators of detrital inputs and carbon availability. Applied Soil Ecology, 92:18-23 pp.
- Verheijen F.G.A, Jones R.J.A, Rickson R.J, Smith C.J (2009): Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. Earth-Science Reviews, 94: 23-38 pp.
- Verheijen F, Jeffery S, Bastos A.C, Van Der Velde M, Diafas I (2010): Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Wardle. 166 p.
- Wardle D.A, Nilsson M.C, Zackrisson O (2008): Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. Science, 320:629-629 pp.
- Wang H, Lin K, Hou Z, Richardson B, Gan J (2010): Sorption of the herbicide terbuthylazine in two New Zealand forest soils amended with biosolids and biochars. Journal of Soils and Sediments, 10:283-289 pp.
- Warnock D.D, Lehmann J, Kuyper T.W, Rillig M.C (2007): Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. Plant and Soil, 300:9-20 pp.
- Warnock D.D, Mummey D.L, McBride B, Major J, Lehmann J, Rillig M.C (2010): Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth-chamber and field experiments. Applied Soil Ecology, 46:450-456 pp.
- Was-Matics H (2018): Mikrobiális oltóanyagok működőképességét befolyásoló környezeti tényezők vizsgálata. PhD értekezés, Keszthely.
- Weller D (1988): Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. Annual Review of Phytopathology, 26:379-407 pp.

- Wilson M, Lindow S.E, Hirano S.S (1991): The proportion of different phyllosphere bacteria in sites on or within bean leaves protected from surface sterilization. *Phytopathology* 81:1222 p.
- Xiang Y, Deng Q, Honglang D, Guo Y (2017): Effects of biochar application on root traits: ameta-analysis. *GCB Bioenergy* 9:1563–1572 pp.
- Yamato M, Okimori Y, Wibowo I.F, Ashori S, Ogawa M (2006): Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52:489–495 pp.
- Yoon S.H, Ha S.M, Kwon S, Lim J, Kim Y, Seo H, Chun J (2017): Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA and whole genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67:1613-1617 pp.
- Zackrisson O, Nilsson, M.C, Wardle D.A (1996): Key ecological function of charcoal from wildfire in the boreal forest. *Oikos*, 77:10-19 pp.
- Zhang H (2014): *Biochar Effects on Soil Microbial Biomass and Activity*. Canada. University of Guelph. 117 p.
- Zimmerman A. R, Gao B, Mi-Youn, A (2011): Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43:1-11 pp.

8.1 Egyéb irodalom

1994. évi LV. törvény a termőföldről

2008. évi XLVI. törvény az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.

CEN/TS 16181:2013

EPA 6020A:2007 Inductively coupled plasma – Mass spectrometry. 23p.

http1: <http://www.biofactor.info/> (megtekintve 2017.10.18.)

MSZ 20135:1999

MSZ 08-0206-2:1978

MSZ 08-0206-2: 1978

MSZ 21470-52:1983

MSZ 21470-51:1983

MSZ 20135:1999

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is köszönettel tartozom témavezetőmnek **Dr. Biró Borbálának**, aki nélkül ez az értekezés nem jöhetett volna létre. Köszönöm, hogy segítette szakmai fejlődésemet, lelkesített munkám elkészítésére, valamint szemléletformáló tanácsaival még tovább ösztönzött.

Köszönöm a Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék minden dolgozójának a nélkülözhetetlen segítséget és a kollegiális barátságot. Köszönöm **Dr. Kardos Leventének** és **Dr. Végvári Györgynek**, hogy technikai segítséget nyújtottak a kísérleteim elvégzéséhez.

Köszönöm szakdolgozómnak, **Dandé Alexandrának** a 2016-os kísérletekben nyújtott segítséget.

Köszönöm **Dr. Juhos Katalinnak** és **Dr. Kotroczó Zsoltnak** a szakmai segítséget, valamint, hogy a dolgozatom elkészülését hasznos tanácsaikkal segítették.

Végül, de nem utolsó sorban, hálásan köszönöm **Családomnak** és **Barátaimnak** a folyamatos biztatást, türelmet és támogatást.

Vizsgálataim elkészülését és az ahhoz szükséges infrastrukturális háttérrel a:

- „Biochar szilárd mikrobiológiai hordozó és EM előállításának, felhasználási technológiájának kísérleti fejlesztése a szerves trágyakezelésben, az állati takarmányozásban és a talajminőség javításában” (**Piac-13-1-2013-0274**) és az
- **EU-KP7 BIOFECTOR** „Development of alternative fertilization systems by use of bioeffectors in Europe-an agriculture” (**CA 312117**) projektek biztosították.