

Bioszén és baktérium oltóanyag különböző kombinációinak hatása kukorica elemösszetételére és elemfelvételére savanyú és meszes homoktalajon

¹RAGÁLYI Péter, ^{1*}BERNHARDT Botond, ¹RÉKÁSI Márk, ¹DRASKOVITS Eszter, ¹MOLNÁR Sándor, ²MOLNÁR Mónika, ³KUTASI József, ¹UZINGER Nikolett

¹MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest
²BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és
Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest
³BioFil Mikrobiológiai, Géntechnológiai és Biokémiai Kft., Budapest
(Beérkezett: 2018.09.13.; Elfogadva: 2019.01.28.)

Bevezetés

A bioszén talajra gyakorolt kedvező tulajdonságai többnyire porózus szerkezeti felépítéséből, valamint nagy fajlagos felületből adódnak, melyek képessé teszik, hogy a mikrobiális és tápanyaggazdálkodási folyamatokra is hatással legyen (RÉKÁSI & UZINGER 2015; KOCSIS & BIRÓ 2015). Így a bioszén alkalmazása befolyásolja a talaj szerkezetét, porozitását, szemcseösszetételét, térfogattömegét, víztartó képességét, valamint mikrobiológiai aktivitását és termékenységét (ATKINSON et al., 2010). A talajszemcsékkel organominerális komplexet képezhet, különösen agyagos talajokon (GLASER et al., 2000).

A bioszén önmagában is tápanyagforrásként szolgálhat, és a talaj meglévő tápanyagkészletének felvehetőségét is képes befolyásolni. Az összetétele alapján elsősorban káliummal, kalciummal és magnéziummal gazdagíthatja a talajt (TRYON, 1948; LEHMANN et al., 2003), de jelentős P forrás is lehet (ASAI et al., 2009; ATKINSON et al., 2010; ALBURQUERQUE et al., 2013). Ez annak is köszönhető, hogy míg a N és S volatilizációja már alacsonyabb hőmérsékleten intenzívvé válik (200-400°C között), addig a K, P, Mg, Ca és Mn elemeknél ez csak 700°C felett következik be (KNOEPP et al., 2005). WANG et al. (2012) által vizsgált bioszenekben 350°C-os pirolízis hőmérsékletnél volt a N-tartalom a legmagasabb, 1,75-1,88%-os N-tartalom, ami 550°C esetén is csak 1,59-1,66%-ra csökkent. A bioszén foszfortartalmának jelentős része közvetlenül felvehető vagy könnyen felvehető formában állhat a növények rendelkezésére (WANG et al., 2014).

Nagy kationcsere kapacitása miatt a bioszén különösen alkalmas az alacsony termékenységű mállottabb talajok tápanyag-visszatartó képességének növelésére. LEHMANN et al. (2002) bioszén és N műtrágya együttes alkalmazása esetén a csurgalékvíz szignifikánsan alacsonyabb ammónium tartalmáról és rizs tesztnövény magasabb N hozamáról számolt be a csak műtrágyázott kezeléshez képest. BERGLUND et al. (2004) eredményei szerint a glicin, mint a legegyszerűbb szerves N forrás bioszénnel együtt kijuttatva pozitívan hatott a talaj nettó nitrifikációs folyamataira. KÁSA et al. (2016) azt találta, hogy a tavaszi időszakban 10-20°C között a legkiemelkedőbb a bioszén hatása a nitrifikáló mikroorganizmusokra,

*Levelező szerző: BERNHARDT BOTOND, MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.
E-mail: bernhardt.botond@agrar.mta.hu

valamint, hogy a különböző bioszenek hatása eltérő. A többnyire magas pH, mely nagyban függ az előállításához használt alapanyagoktól, a bioszén a savanyú talajokat alkalikusabbá teheti, növelve termékenységüket, elsősorban a felvehető P, K, Ca, Mg és Cu tartalmukat (TRYON, 1948; SANCHEZ et al., 1983; LEHMANN et al., 2002). A fentiekén kívül a Mn és Zn (LEHMANN et al., 2003), valamint a Mo és B (RONDON et al., 2007) felvehetőség is javulhat. Ugyanakkor semlegeshez közeli pH-értékű talajok esetében a mikroelemek felvehetősége csökkenhet, ami tápelemhiányt idézhet elő (GLASER et al., 2002).

A bioszén termesztett növényre gyakorolt hatását a talajtulajdonságok és a növényfaj is nagyban befolyásolja. Mállott talajhoz 10-20% (m/m) bioszén adva a megemelkedett C:N arány miatt a N felvehetősége lecsökkent, azonban a rizs és a homoki bab teszt növények K, P, Ca, Zn és Cu felvétele, valamint hozama megnőtt (LEHMANN et al., 2003). CHAN et al. (2007) vizsgálatai alapján a zöldhulladékból készült bioszén 50-100 t ha⁻¹-os adagja növelte a talaj pH-ját, szerves széntartalmát, Na, K, Ca és P koncentrációját, valamint csökkentette felvehető Al készletét a pH növelése által. A növényi összetételre szintén hatással volt és a retek teszt növény P-, K- és Ca-tartalmát is növelte. A P szintet a N műtrágyázás tovább növelte. A növekvő bioszén kezelés hatására N műtrágyával nőtt, anélkül viszont csökkent a talaj biológiai aktivitása. LEHMANN et al. (2002) és VAN ZWIETEN et al. (2010) szintén hatékonyabb tápanyagfelvételtől számolt be a bioszén és műtrágya együttes alkalmazása esetén.

A talaj-növény rendszerre gyakorolt hatást nagyban befolyásolják az alkalmazott bioszén alaptulajdonságai, melyek viszont erősen függenek a felhasznált anyagok minőségétől, és az előállítás módjától. BUSS et al. (2016) tizenkilenc alapanyagában vagy előállítási módjában (pirolízis hőfoka) különböző bioszén terméket vizsgált meg. A pH érték a pirolízis legmagasabb hőfokával együtt nőtt, és többnyire a 8,5-10,5 közötti tartományban volt. A magasabb, 700°C feletti hőmérséklet hozzávetőlegesen 15-20%-os tápelem veszteséget okozott a Ca és Mg esetében, ugyanakkor P vagy K veszteséget nem tapasztaltak. A vizsgálatok alapján az ételmaradékból előállított bioszén kiemelkedő tápelemtartalommal rendelkezett, ami miatt különösen alkalmas lehet a talaj termékenységének fokozására. GULYÁS et al. (2014) tenyészedényes kísérlete alapján a csontszénnek (állati eredetű bioszén) erősebb hatása volt az AL-P₂O₅ tartalomra, valamint a pH és összes sótartalomra, de nagyobb, 5 és 10%-os dózisoknál a növényi eredetű bioszén is növelte a pH-t. Ugyanakkor a növényi eredetű bioszén bekeverése növelte a kezelt talaj víztartó képességét, kálium- és szerves-szén-tartalmát, míg a csontszén esetében hasonló hatás nem volt tapasztalható. TOLNER et al. (2015a) hasonló eredményekről számol be, megállapítva, hogy a faszén 5%-os és afeletti adagja a kötöttség kedvezőtlen növelésével, a lignitpor 10% adagja pedig savanyító hatásával csökkentette a szudánifű biomasszáját, míg az alacsonyabb dózisok, valamint a csontszén 1-10%-os adagjai egyaránt pozitív hatásúak voltak. HOLES et al. (2014) vizsgálatai szerint a csontszén növekvő adagjai homoktalajban mért E4/E6 arányt kedvező tartományba csökkentették, míg a növényi eredetű bioszénnek nem volt egyértelmű hatása. Továbbá a csontszént 9-10-es pH érték jellemezte szemben a növényi eredetű bioszén semleges-enyhén savas pH értékével.

ALBURQUERQUE et al. (2013) szalmából, valamint olívafa nyersedékből készült bioszén hatását vizsgálta búzára tenyészedény kísérletben. Műtrágyázás nélkül a bioszénnek csak elenyésző hatása volt a terméshozamra, de műtrágyázással kiegészülve már 20-30%-os hozam-növekedést eredményezett. A szalmából készült bioszén a P, K, Zn és Cu elemek koncentrációját növelte, valamint mindkét bioszén a N, Fe és Mn felvett mennyiségét csökkentette a búza földfeletti biomasszájában. Az olívafa nyersedékből származó bioszén a tesztnövényben alacsonyabb Fe-, Mn-, Zn- és Cu-tartalmat eredményezett, vélhetően a magasabb pH és széntartalom miatt. TOLNER et al. (2015b) gumi pirolízis maradék forróvízes kivonatának fehérmustár csíranövény fejlődésére gyakorolt pozitív hatásáról számol be, melynek oka annak tápelem-tartalma (S, Mg) lehet.

A recens irodalmi adatok szerint *Rhizobium phaseoli*, *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. coagulans* és *Pseudomonas striata* talajmikroorganizmus törzsek felhasználásával már történtek kísérletek és dolgoztak ki mezőgazdasági eljárásokat a baktérium talajoltás és bioszén együttes alkalmazására (SAXENA et al., 2013; WO 2012/038740).

Jelen vizsgálatok célja volt kideríteni az alkalmazott bioszén hatását önmagában, valamint ráoltott és saját hordozójával adagolt baktérium oltóanyaggal együtt. További cél volt az oltóanyag hatását megállapítani a kísérleti növényként alkalmazott kukorica elemösszetételére és elemhozamára savanyú és meszes homoktalajon beállított szabadföldi kísérletben. Korábbi cikk tárgyalta már a kezelések talajokra és terméshozamra gyakorolt hatását (RÉKÁSI et al., 2019).

Feltételeztük, hogy i) a bázikus jellegű bioszénnek erőteljesebb pozitív hatása lehet a tápelemek felvételére a savanyú homoktalajon, és ii) a bioszén és oltóanyag együttes alkalmazása a szinergikus hatás révén tovább növelheti a tápanyagfelvétel hatékonyságát: bioszénre oltott baktérium előnyösebb hatással lehet a kukorica tápelem-felvételére, mint a két anyag együttes alkalmazása.

Anyag és módszer

A kísérlet helyszíne

A szabadföldi kísérleteket az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetének kísérleti állomásain végeztük. Az Őrbottyáni terület (é. sz. 47° 40', k. h. 19° 14') talajtípusa meszes homoktalaj, 5-10 méteres talajvízszint mélységgel. A terület mérsékelt heterogenitást mutat szervesanyag- és CaCO₃-tartalom tekintetében. A nyírlugosi terület (é. sz. 47° 43', k. h. 22° 00') kovárványos futóhomok 20-25 cm-es humuszos réteggel, 3-6 méteres talajvízszint mélységgel. Éghajlatuk mérsékelt és mindkét terület hajlamos az aszályra. A talajok tulajdonságait az 1. táblázat tartalmazza.

A 2015-ös évben a csapadék a sokéves átlag alatt volt. A nyírlugosi kísérlet 2015 júliusában 50 mm kiegészítő öntözést kapott, hogy a vizsgálandó növények túlélhessék az aszályt. Így a vegetációs időszakban (áprilistól szeptemberig) a teljes vízellátottság 275 mm volt Nyírlugoson és 215 mm Őrbottyánon, melyek messze

elmaradtak az 50-éves átlagtól (Nyírlugos – 362 mm, Órbottyán – 317 mm) és a kukorica optimális (400 mm) vízellátottságától vályogtalajon (SULYOK & MEGGYES, 2008).

Alkalmazott anyagok

A kísérletben felhasznált bioszén pirolizált (20 perc, 450–500°C) gabona pelyva és papírrost iszap volt (gyártó: Sonnenerde GmbH, Ausztria). A bioszén tulajdonságai az 1. táblázatban találhatóak. A bioszénben potenciálisan fellelhető toxikus elemek koncentrációi a hivatalos Magyar határértékek alatt maradtak (36/2006. (V. 18.) FVM rendelet). A bioszén PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon – policiklusos aromás szénhidrogén) tartalma 1,68 mg kg⁻¹, TPH (Total Petroleum Hydrocarbon – kőolajszármazék) tartalma 28 mg kg⁻¹ volt (CEN/TS 16181:2013) és 60%-ának részecske mérete kisebb volt, mint 2 mm.

1. táblázat

A termőhelyek 0-20 cm-es talajrétegeinek és az alkalmazott bioszénnek egyes fizikai és kémiai tulajdonságai

Tulajdonság (1)	Savanyú homok (Nyírlugos) (2)	Karbonátos homok (Órbottyán) (3)	Bioszén (4)
pH(H ₂ O)	4,40	7,90	10,4
pH(KCl)	4,00	7,60	
Szervesanyag % (5)	0,600	1,00	27,5*
CaCO ₃ %	0,000	2,00	10,7
CEC meq/100g	1,49	9,05	9,64
Homok% (0.050 mm felett) (6)	85,0	81,0	
Vályog% (0.002-0.050 mm) (7)	10,0	13,0	
Agyag% (0.002 mm alatt) (8)	5,00	6,00	
összes N (m/m%) (9)	0,044	0,063	0,848
összes P (mg kg ⁻¹) (10)	260	545	5976
összes K (mg kg ⁻¹) (11)	1193	2152	10547
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	22,1	8,36	2,30
NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	22,4	8,32	36,8
AL-oldható P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹) (12)	68,9	158	2852
AL-oldható K ₂ O (mg kg ⁻¹) (13)	36,1	43,2	8598
összes Ca (mg kg ⁻¹) (14)	309	10544	63587
összes Mg (mg kg ⁻¹) (15)	590	4643	3161
összes Zn (mg kg ⁻¹) (16)	46	29	65

*A mérés a módosított Walkley-Black módszer szerint történt. Az összes C-tartalmat (60,4%) a bioszén elhamvasztásával határoztuk meg.

A mikrobiális oltóanyag (kereskedelmi forgalomban nem kapható terméket a Biofil Kft. állította elő) a WO 2015/118516 szabvány szerint Magyarország természetes homoktalajaiból izolált mikroorganizmusokat tartalmazott.

A növényi növekedést elősegítő rhizobaktériumokat (PGPR) úgy szelektáltuk, hogy fokozzák a humifikációt és a talajképződést, valamint javítsák a nitrogén-, foszfor- és vasellátást, továbbá növényi növekedést serkentő vegyületeket biztosítsanak homokos és / vagy savanyú talajviszonyok között. Így a kiválasztott baktériumok szabadon élő, kölcsönös nitrogénkötő és foszfátmobilizáló törzsek voltak. Továbbá sziderofór-termelő képességük miatt képesek voltak javítani a növények mezo- és mikroelem-felvételét, valamint poliszacharid termeléssel javítani a talaj szerkezetét.

A kísérletben a mikrobiális oltóanyagokat három módon alkalmaztuk: i) a baktériumokat a bioszén felületén hordozóanyagukkal együtt rögzítettük (a továbbiakban oltott bioszén), ii) a baktériumokat hordozóanyag nélkül adtuk a talajhoz a bioszén mellett (a továbbiakban bioszén+oltóanyag), iii) a baktériumokat hagyományos vívőanyagra (alappor) rögzítve juttattuk ki. A karbonátos talajon alkalmazott lúgos kémhatást tűrő oltóanyag-keverék összetétele a WO 2015/118516 szabadalmi leirat szerint a következő (CFU (colony forming unit – telepképző egység) g^{-1} lúgos alapporon; CFU g^{-1} bioszéne):

NF6 *Azospirillum irakense* ($1,4 \times 10^8$; 7×10^7),
NF11 *Azospirillum brasilense* ($4,8 \times 10^7$; $2,4 \times 10^7$),
S 225 *Kocuria rosea* (4×10^7 ; 2×10^7),
13/4 *Pseudomonas chlororaphis* ($5,8 \times 10^7$; $2,9 \times 10^7$),
ES232 *Bacillus megaterium* ($5,4 \times 10^7$; $2,7 \times 10^7$).

A savanyú talajon alkalmazott savas kémhatást tűrő oltóanyag-keverék esetében ez a WO 2015/118516 szabadalmi leirat szerint (CFU g^{-1} savanyú alpporon; CFU g^{-1} bioszéne):

NF7 *Azospirillum brasilense* ($4,2 \times 10^6$; $3,6 \times 10^6$),
242/9 *Azospirillum brasilense* ($1,32 \times 10^8$; $6,6 \times 10^7$),
LU44 *Bacillus aryabhatai* ($3,4 \times 10^7$; $1,7 \times 10^7$),
S 284 *Paenibacillus peoriae* ($2,4 \times 10^6$; $2,2 \times 10^6$),
S153 *Arthrobacter crystallopoietes* (2×10^8 ; 10^8) (KOVÁCS et al. 2017,

valamint RÉKÁSI et al., 2019 alapján). A hordozóanyag nélkül alkalmazott oltóanyag-keverék összetételi arányai megegyeznek a fent bemutatott arányokkal.

Az oltóanyagokat tápközegben tartott törzsek tenyészetéből állítottuk elő, majd áthelyeztük egy 0,5% glükóz-, 0,5% szacharóz- és 0,3% élesztőkivonat-tartalmú steril táptalajra és egy éjszakán át rázattuk ($300 \text{ fordulat min}^{-1}$, 28°C).

10 ml frissen előállított baktériumtenyészetet (*Azospirillum*-tenyészetek esetén 25 ml-t) 1000 ml steril táptalajra helyeztünk és egy éjszakán át rázattuk ($300 \text{ fordulat min}^{-1}$, 28°C). A tápoldat összetétele a következő volt: 0,5% kukoricaliszt, 0,5% melasz, 0,5% glükóz, 0,1% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,1% KH_2PO_4 , 0,2% CaCO_3 , 0,02% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1% K_2HPO_4 . A WO 2012/093374 számú szabadalmi leirat szerint a hagyományos oltóanyag-hordozó (alppor) összetétele perlit, zeolit és diatomaföld keveréke Vivapur® 101 mikrokristályos cellulóz adalékanyaggal. Mind az alpport, mind a bioszén autoklávban sterilizáltuk 121°C -on 2 órán át. A baktérium tenyészeteket külön-külön alkalmaztuk a hordozóra. Mindegyik esetben 800 g alpport kevertünk össze 500 ml baktériumtenysézzel és 225 ml más folyadékkal (védőanyaggal). Az oltott bioszén esetében az oltott hordozóanyagot

nedvesen 1:1 arányban kevertük bioszénnel, így a hordozóanyag bevonta a bioszén szemcséket. A bioszén és az alpporokat a már ismertett arányokban összekevertük. Homogenizálás után a nedves terméket szárítószekrényben 34°C-on 24-26 órán keresztül szárítottuk, a por nedvességtartalmának rendszeres megfigyelésével.

A kísérlet beállítása

A kísérlet beállítása ugyanaz volt mindkét kísérleti területen. A négy kezelés a következő volt: bioszén önmagában, oltott bioszén, bioszén+oltóanyag (hordozó nélkül), és oltóanyag alppor-hordozón. Ezeket a kezeléseket 3 eltérő dózisban alkalmaztuk kontrol mellett, ahogy azt a 2. táblázat mutatja. A hordozóanyag és anélküli oltóanyag CFU ha⁻¹ értékeit a korábbi vizsgálatok alapján választottuk ki, hogy ugyanazt a túlélési arányt biztosítsuk a talajban.

2. táblázat

A kísérletben alkalmazott kezelések (RÉKÁSI et al., 2019 alapján)

Kezelés (1)	Kezelési szint (2)			
	1	2	3	4
Savanyú homok (Nyírlugos) (3)				
Bioszén (4)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ*	15,0 t ha ⁻¹ BSZ	30,0 t ha ⁻¹ BSZ
Oltott bioszén (5)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ + 2,1*10 ¹¹ CFU** ha ⁻¹	15,0 t ha ⁻¹ BSZ + 1,05*10 ¹² CFU ha ⁻¹	30,0 t ha ⁻¹ BSZ + 2,1*10 ¹² CFU ha ⁻¹
Bioszén + oltóanyag (6)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ + 1,00*10 ¹² CFU ha ⁻¹	15,0 t ha ⁻¹ BSZ + 5,00*10 ¹² CFU ha ⁻¹	30,0 t ha ⁻¹ BSZ + 1,00*10 ¹³ CFU ha ⁻¹
Oltóanyag (7)	kontroll (8)	4,30*10 ¹¹ CFU ha ⁻¹	2,20*10 ¹² CFU ha ⁻¹	4,30*10 ¹² CFU ha ⁻¹
Karbonátos homok (Órbottyán) (9)				
Bioszén (4)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ	15,0 t ha ⁻¹ BSZ	30,0 t ha ⁻¹ BSZ
Oltott bioszén (5)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ + 1,70*10 ¹¹ CFU ha ⁻¹	15,0 t ha ⁻¹ BSZ + 8,50*10 ¹¹ CFU ha ⁻¹	30,0 t ha ⁻¹ BSZ + 1,70*10 ¹² CFU ha ⁻¹
Bioszén + oltóanyag (6)	kontroll (8)	3,00 t ha ⁻¹ BSZ + 1,00*10 ¹² CFU ha ⁻¹	15,0 t ha ⁻¹ BSZ + 5,00*10 ¹² CFU ha ⁻¹	30,0 t ha ⁻¹ BSZ + 1,00*10 ¹³ CFU ha ⁻¹
Oltóanyag (7)	kontroll (8)	3,40*10 ¹¹ CFU ha ⁻¹	1,70*10 ¹² CFU ha ⁻¹	3,40*10 ¹² CFU ha ⁻¹

*BSZ: bioszén; **CFU: colony forming unit – telepképző egység

A kísérleti területet 20 m²-es (4x5 m) parcellákra osztottuk. A bruttó parcellák szélén körben 1 m szegélyt hagytunk, így a nettó parcella 6 m² (2x3 m) területű lett. A 4 ismétlés 64 parcellát eredményezett mindkét helyen. Minden ismétlés véletlen

blokk elrendezésben került kialakításra. Az ismétlések egy-egy külön blokkot alkottak, melyeket 1 m széles út választott el.

A parcellák műtrágyázása a Pro Planta szaktanácsadási rendszer (CSATHÓ et al., 2007; 2008) által ajánlott NPK ásványi műtrágya dózisának felével történt (savanyú homokon: $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: 225 kg ha⁻¹, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$: 120 kg ha⁻¹, KCl: 75 kg ha⁻¹; meszes homokon: $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: 200 kg ha⁻¹, KCl: 80 kg ha⁻¹). Az alkalmazott anyagokat (bioszén, oltóanyag, műtrágya) 0-25 cm-es talajrétegbe forgattuk bele rotációs kapával 2015. április végén. Ezután elvetettük a kukoricát (Mv 277 fajtát) és szeptemberben takarítottuk be. A kísérlet 5 hónapon át tartott. Mindkét területen növényvédőszeres gyomirtást végeztünk május végén.

Mintavétel, kémiai analízis

Parcellánként 10 db reprezentatív növényt gyűjtöttünk be 2015 szeptemberében. A betakarított növényi részek (kukoricaszem, -szár és -levél) tömegét megmértük, megszáritottuk, majd megőröltük. A növényminták mintaelőkészítése a MSZ-08-1783-1:1983-as szabvány alapján történt. A N-tartalmat a MSZ-08-1783-6:1983-as szabvány alapján a Kjeldahl-feltárási módszerrel határoztuk meg. A P-, K-, Ca-, Mg- és Zn-tartalom meghatározása a MSZ-08-1783-28:1985; MSZ-08-1783-29:1985; MSZ-08-1783-26:1985; MSZ-08-1783-27:1985 és a MSZ-08-1783-33:1985 kódjelű szabványokban leírt módon valósult meg. Az egyes kivonatok elemkoncentrációinak átlagát ICP-OES (HORIBA Jobin Yvon ULTIMA 2 atomemissziós spektrométer) készülék segítségével határoztuk meg, Merck kalibrációs sztenderdeket használva. Minden egyes mérésorozat során sztenderd kivonatot is használtunk kontrollként.

Statisztikai kiértékelés

A kísérleti eredményeket Microsoft Office Excel 2007-es programmal dolgoztuk fel. A statisztikai kiértékeléshez a Statistica 13.0 (DELL INC., Armonk, Round Rock, Texas, USA) programcsomagot használtuk. Az adatok kiértékeléséhez 95%-os megbízhatósági szintet választottunk ($p \leq 0,05$). Az eredmények összevetése során egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk. Az ábrákon az eltérő betűk szignifikánsan eltérő átlagot jelölnek.

Eredmények

Elemtartalom

A növényi N-tartalomra a kezelések sem a savanyú, sem a karbonátos homoktalajon nem voltak jelentős hatással. A savanyú és karbonátos homoktalajon hasonló értékeket kaptunk. A szár+levél és szem N-tartalma savanyú talajon sorrendben átlagosan 1,00 és 1,82%, míg karbonátos talajon ez 1,04 és 1,81% (m/m%, sz.a.).

3. táblázat
Kezelések hatása a kukorica P és K koncentrációjára (mg kg⁻¹ sz.a.)

Növényi rész (1)	Kezelés (2)	Kezelés szint (3)			
		1	2	3	4
szár + levél (4)	P				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	1636 ± 247 aA	1265 ± 134 aA	1700 ± 588 aA	1973 ± 439 aA
	Oltott bioszén (9)	1636 ± 247 aA	1497 ± 558 aA	1570 ± 234 aA	1852 ± 660 aA
	Bioszén+oltó. (10)	1636 ± 247 aA	1436 ± 204 aA	1440 ± 172 aA	1535 ± 562 aA
	Oltóanyag (11)	1636 ± 247 aA	1330 ± 143 aA	1285 ± 401 aA	1353 ± 312 aA
	Karbonátos homok (7)				
	Bioszén (8)	1774 ± 157 aA	1727 ± 363 aA	1279 ± 647 aA	1626 ± 437 aA
	Oltott bioszén (9)	1774 ± 157 aA	1735 ± 329 aA	1451 ± 381 aA	1557 ± 528 aA
	Bioszén+oltó. (10)	1774 ± 157 aA	1588 ± 333 abA	1530 ± 545 abA	1338 ± 148 aA
	Oltóanyag (11)	1774 ± 157 aA	1985 ± 661 aA	1573 ± 473 aA	2187 ± 446 aA
	szem (5)	Savanyú homok (6)			
Bioszén (8)		3475 ± 184 aA	3357 ± 458 aA	3659 ± 169 aA	3648 ± 157 aA
Oltott bioszén (9)		3475 ± 184 aA	3292 ± 192 aA	3713 ± 573 aA	4471 ± 957 aA
Bioszén+oltó. (10)		3475 ± 184 aA	3927 ± 427 aA	3526 ± 572 aA	3609 ± 325 aA
Oltóanyag (11)		3475 ± 184 aA	3278 ± 420 aA	3353 ± 554 aA	3537 ± 686 aA
szár + levél (4)	K				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	9164±1274 aA	10240±1493 aA	11865±1572 abAB	14900±1819 bB
	Oltott bioszén (9)	9164±1274 aA	11046±741 aA	13833±497 bB	16075±1093 cB
	Bioszén+oltó. (10)	9164±1274 aA	9747±876 aA	12068±3394 aAB	13258±1541 aAB
	Oltóanyag (11)	9164±1274 aA	10741±2191 aA	8210±1383 aA	10181±3218 aA
	Karbonátos homok (7)				
	Bioszén (8)	3500 ± 404 aA	4244 ± 921 abA	4241 ± 1177 abAB	5672 ± 1049 bB
	Oltott bioszén (9)	3500 ± 404 aA	3735 ± 192 aA	5119 ± 549 bB	6285 ± 1035 bBC
	Bioszén+oltó. (10)	3500 ± 404 aA	3736 ± 1174 aA	5034 ± 617 aB	7706 ± 492 bC
Oltóanyag (11)	3500 ± 404 aA	2713 ± 364 aA	3094 ± 959 aA	3060 ± 664 aA	

Megjegyzés: A betakarított növényi minták (kukoricaszem, -szár és -levél) átlaga és szórása eltérő talajokon (Nyírlugos, Örbottyán) a 2015-ös évben. A különböző betűk szignifikánsan különböző értékeket jelölnek. Kisbetűk: rögzített kezelésekre a kukorica elemtartalmának összehasonlítása különböző kezelési szinteken; nagybetűk: rögzített kezelési szintekre a kukorica elemtartalmának összehasonlítása különböző kezelések hatására (Tukey post hoc teszt; $p \leq 0,05$).

A bioszén önmagában, valamint a ráoltott oltóanyaggal a szár+levélben nem-szignifikáns mértékben többnyire növelte a P-tartalmat a legmagasabb kezelési dózisban a savanyú homokon (3. táblázat). A szemben is hasonló tendencia érvényesült: többnyire mérsékelten nőtt a P a bioszénes kezelésekben. Karbonátos homokon viszont a bioszén kezelések hatására csökkent a szár+levél P tartalma, ami a bioszén+oltóanyag esetében szignifikáns volt. A szem P-tartalma érdemi változást nem mutatott, ezért táblázatos közlésétől eltekintünk. Átlagos értéke 3596 mg kg⁻¹ volt karbonátos homokon. A két különböző talajon termesztett kukorica P tartalma hasonló volt.

A nyírlugosi és az örbottyáni talajon is a tiszta bioszén, valamint a bioszén+oltóanyag növekvő adagjai többnyire szignifikáns mértékben növelték a szár+levél K-tartalmát (3. táblázat). A nyírlugosi talajon így átlagosan 61%, míg az

örbottyánin 87% növekmény keletkezett a legmagasabb kezelési szintek hatására. A szem K-tartalma érdemi változást nem mutatott, ezért adatait táblázatosan nem közöljük. A szem K-tartalma savanyú homokon átlagosan 4567 mg kg⁻¹, karbonátos homokon 4458 mg kg⁻¹ volt. Az oltóanyag önmagában nem fejtett ki hatást a K-tartalomra. A savanyú homokon termelt kukorica szár+levél K-tartalma hozzávetőlegesen 2,5-szöröse a karbonátos talajon természetthez képest, míg a szem esetében gyakorlatilag megegyeznek az értékek.

4. táblázat

Kezelések hatása a kukorica Ca és Zn koncentrációjára (mg kg⁻¹ sz.a.)

Növényi rész (1)	Kezelés (2)	Kezelés szint (3)			
		1	2	3	4
szár + levél (4)	Ca				
	Karbonátos homok (6)				
	Bioszén (8)	9223 ± 848 aA	9081 ± 2630 aA	7266 ± 376 aA	7262 ± 1337 aA
	Oltott bioszén (9)	9223 ± 848 aA	9285 ± 2446 aA	7774 ± 765 aA	7094 ± 1397 aA
	Bioszén+oltó. (10)	9223 ± 848 bcA	9572 ± 741 cA	7765 ± 761 abA	7081 ± 760 aA
	Oltóanyag (11)	9223 ± 848 aA	10641 ± 1415 aA	10320 ± 937 aB	11039 ± 976 aB
	Savanyú homok (7)				
	Bioszén (8)	30,4 ± 8,90 aA	57,0 ± 8,44 aA	64,9 ± 30,6 aA	48,5 ± 13,3 aA
	Oltott bioszén (9)	30,4 ± 8,90 aA	58,0 ± 29,4 aA	80,2 ± 41,1 aA	94,2 ± 33,2 aB
	Bioszén+oltó.(10)	30,4 ± 8,90 aA	66,2 ± 8,02 bA	59,5 ± 12,3 bA	58,7 ± 11,4 bAB
Oltóanyag (11)	30,4 ± 8,90 aA	58,6 ± 23,3 aA	74,5 ± 41,8 aA	51,0 ± 9,49 aA	
szem (5)	Karbonátos homok (6)				
	Bioszén (8)	98,9 ± 17,1 aA	92,4 ± 18,7 aA	83,7 ± 19,3 aAB	72,3 ± 12,7 aA
	Oltott bioszén (9)	98,9 ± 17,1 aA	92,6 ± 17,0 aA	74,1 ± 7,92 aA	73,4 ± 11,2 aA
	Bioszén+oltó. (10)	98,9 ± 17,1 aA	92,0 ± 16,7 aA	83,8 ± 3,22 aAB	71,4 ± 34,0 aA
	Oltóanyag (11)	98,9 ± 17,1 aA	117 ± 40,3 aA	96,1 ± 8,20 aB	107 ± 20,5 aA
	Zn				
	Savanyú homok (7)				
	Bioszén (8)	61,2 ± 14,3 aA	56,5 ± 6,99 aA	50,2 ± 17,7 aA	45,6 ± 19,8 aA
	Oltott bioszén (9)	61,2 ± 14,3 aA	62,4 ± 7,11 aA	54,0 ± 12,7 aA	49,6 ± 17,5 aA
	Bioszén+oltó. (10)	61,2 ± 14,3 bA	65,6 ± 5,72 bA	47,3 ± 5,83 abA	40,6 ± 8,03 aA
Oltóanyag (11)	61,2 ± 14,3 aA	59,4 ± 8,77 aA	67,1 ± 5,88 aA	64,7 ± 7,56 aA	
szár + levél (4)	Karbonátos homok (6)				
	Bioszén (8)	20,7 ± 5,75 aA	17,2 ± 7,52 aA	14,4 ± 4,96 aA	16,2 ± 2,82 aAB
	Oltott bioszén (9)	20,7 ± 5,75 aA	16,6 ± 4,41 aA	18,1 ± 9,03 aA	16,7 ± 4,13 aAB
	Bioszén+oltó. (10)	20,7 ± 5,75 bA	18,7 ± 1,59 abA	18,1 ± 4,79 abA	11,6 ± 2,85 aA
	Oltóanyag (11)	20,7 ± 5,75 aA	16,6 ± 3,31 aA	16,7 ± 2,10 aA	21,7 ± 3,92 aB

Megjegyzés: lásd 3. táblázat.

Az örbottyáni talajon termesztett kukorica Ca-tartalma csökkenést mutatott az önmagában, valamint az oltóanyagokkal együtt kijuttatott bioszén kezelések hatására. Ez a változás egyedül a bioszén+oltóanyag kezelésben ért el szignifikáns mértéket a szár+levélben. A tendencia a szemben is megfigyelhető. A nyírlugosi talajon a szár+levélben a Ca nem mutatott számottevő változást, értéke átlagosan 3750 mg kg⁻¹ volt. A szemben viszont növekedést mértünk a kontrollhoz képest. Ez a bioszén+oltóanyag kezelésben volt szignifikáns, ugyanakkor az oltott bioszén kezelésben volt a legnagyobb mértékű, mely maximális dózis esetén több mint

háromszorosa volt a kontrollnak. A karbonátos homokon termesztett kukorica Ca- tartalma 2-3-szorosa volt a savanyú homokon termesztettnek (4. táblázat).

A 4. táblázat alapján a szár+levél Zn tartalma a savanyú és a meszes homoktalajokon is csökkenő tendenciát mutatott az önmagában kijuttatott, valamint az oltóanyagokkal kombinált bioszén kezelésekben, ami a bioszén+oltóanyag legnagyobb dózisa esetében volt szignifikáns. A karbonátos homokon termesztett kukorica szár+levél Zn koncentrációja csak mintegy 1/3-a a savanyú talajhoz képest. A szemben a változások nem következetesek, a Zn-tartalom savanyú homokon átlagosan 30,26 mg kg⁻¹, karbonátos homokon 25,90 mg kg⁻¹ volt.

5. táblázat

Kezelések hatása a kukorica N és P hozamára (g ha⁻¹ sz.a.)

Növényi rész (1)	Kezelés (2)	Kezelés szint (3)				
		1	2	3	4	
N						
Savanyú homok (6)						
szár + levél (4)	Bioszén (8)	16498±3168 aA	29448 ± 6323abB	31520±7840 abAB	32137 ± 10108 bA	
	Oltott bioszén (9)	16498±3168 aA	24110±1521abAB	27660±10929 abAB	34118 ± 11053 bA	
	Bioszén+oltó. (10)	16498±3168 aA	23251±5365 aAB	37455 ± 1357 bB	39309 ± 6189 bA	
	Oltóanyag (11)	16498±3168 aA	15502 ± 6110 aA	19057 ± 6143 aA	23516 ± 9124 aA	
	Karbonátos homok (7)					
	Bioszén (8)	39291±2470 aA	46607 ± 4243 aA	51760 ± 14745 aA	54996 ± 8967 aA	
	Oltott bioszén (9)	39291±2470 aA	52691 ± 6481 bA	53876 ± 2183 bA	56120 ± 7119 bA	
	Bioszén+oltó. (10)	39291±2470 aA	46217 ± 8308 aA	47508 ± 8496 aA	52323 ± 9983 aA	
	Oltóanyag (11)	39291±2470 aA	39131 ± 3802 aA	40440 ± 5311 aA	38171 ± 3897 aA	
	Savanyú homok (6)					
szem (5)	Bioszén (8)	6152 ± 3135 aA	15389±10330 aA	12388 ± 6601 aA	13766 ± 8097 aA	
	Oltott bioszén (9)	6152 ± 3135 aA	10274 ± 4801 aA	11202 ± 10406 aA	10838 ± 9795 aA	
	Bioszén+oltó. (10)	6152 ± 3135 aA	7499 ± 5947 abA	15348±10194 abA	22295 ± 7206 bA	
	Oltóanyag (11)	6152 ± 3135 aA	5210 ± 5438 aA	7986 ± 7121 aA	9261 ± 11308 aA	
P						
Savanyú homok (6)						
szár + levél (4)	Bioszén (8)	3252 ± 2018 aA	3609 ± 1364 aA	5037 ± 2734 aA	5439 ± 1751 aA	
	Oltott bioszén (9)	3252 ± 2018 aA	3408 ± 1922 aA	3404 ± 1797 aA	4573 ± 1628 aA	
	Bioszén+oltó. (10)	3252 ± 2018 aA	2528 ± 835 aA	4773 ± 189 aA	4882 ± 870 aA	
	Oltóanyag (11)	3252 ± 2018 aA	1580 ± 904 aA	1936 ± 642 aA	2505 ± 1189 aA	
Savanyú homok (6)						
szem (5)	Bioszén (8)	1401 ± 813 aA	2968 ± 2068 aA	2682 ± 1751 aA	2777 ± 1767 aA	
	Oltott bioszén (9)	1401 ± 813 aA	1967 ± 995 aA	2361 ± 2179 aA	2307 ± 1865 aA	
	Bioszén+oltó. (10)	1401 ± 813 aA	1512 ± 1159 aA	3106 ± 1992 aA	4242 ± 1375 aA	
	Oltóanyag (11)	1401 ± 813 aA	900 ± 911 aA	1384 ± 1129 aA	1831 ± 2176 aA	

Megjegyzés: lásd 3. táblázat.

A Mg esetében a változások nem számottevőek, és egyértelmű tendenciát nem mutatnak egyik kezelésben sem. A szár+levél és szem Mg tartalma a karbonátos talajon sorrendben átlagosan 4124 és 1235 mg kg⁻¹, míg a savanyú talajon 1249 és 1159 mg kg⁻¹. Az önmagában, bioszén nélkül alkalmazott oltóanyag emelkedő adagjai jellemzően nem okoztak változást a növényi összetételben egyik vizsgált elem esetében sem.

Elemhozam

A szár+levél által felvett N mennyisége kétszeres, vagy azt meghaladó szignifikáns emelkedést mutatott a savanyú talajon a legmagasabb dóziszú bioszén és oltóanyaggal kombinált bioszén kezelések hatására. A karbonátos talajon a növekmény átlagosan közel 40%-os, itt viszont csak az oltott bioszén eredményezett szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest (5. táblázat).

A szem esetében is savanyú homokon voltak erőteljesebb, 2-3-szoros különbségek, míg a karbonátos homokon az adatok nagy szórással és következetlenül ingadoztak, így ezeket táblázatosan nem közöljük. A szem N-felvétele karbonátos homokon átlagosan 23082 g ha⁻¹-nak adódott. A bioszén nélkül alkalmazott oltóanyag N-felvételre gyakorolt hatása ugyan nem volt statisztikailag igazolható, de savanyú homokon a magasabb, 3-as és 4-es kezelési szinteken fokozatos emelkedés látszott.

A felvett foszfor a savanyú talajon az emelkedő növényi P koncentráció és terméshozam eredőjeként nem-szignifikáns mértékben ugyan, de jelentősen emelkedett az esetek többségében a bioszén tartalmazó kezelések emelkedő adagjainak hatására, ami a szár+levél esetében átlagosan 67%-os, a bioszén+oltóanyag kezelésnél a szemtermésben pedig háromszoros növekményt jelentett a legmagasabb adagú kezelés esetén (5. táblázat). Karbonátos talajon mindkét növényi rész esetében a változás ingadozó, mértéke elenyésző, ezért az adatokat nem közöljük. A P-felvétel karbonátos homokon szár+levélben átlagosan 6898 g ha⁻¹, szemben átlagosan 4571 g ha⁻¹ értékeket mutatott.

A K felvételben látványos különbségek adódtak. A szár+levél K felvétele a savanyú talajon megháromszorozódott, a karbonátos talajon pedig átlagosan 2,6-szorosára nőtt a legmagasabb dóziszú bioszén tartalmazó kezelések hatására. A szem esetében is átlagosan több mint kétszeres a növekmény a savanyú talajon, ahol a legeredményesebb a bioszén+oltóanyag volt 3-szorost meghaladó különbséggel. Karbonátos talajon ezzel szemben leginkább ingadozás volt tapasztalható, ezért ezen adatokat nem közöljük. A K-felvétel ezen a talajon a szemben átlagosan 5691 g ha⁻¹ volt (6. táblázat).

A Ca felvétel részben a K-hoz hasonlóan alakult (6. táblázat). A savanyú homokon a szár+levél felvétele 6239 g ha⁻¹-ről átlagosan 10783 g ha⁻¹-ra, a szemé pedig 12,4-ről 47,6 g ha⁻¹-ra nőtt a legnagyobb bioszén tartalmazó kezelésekben. A jóval magasabb Ca tartalmú karbonátos talajon ezzel szemben a nyírlugosít sokszorosán meghaladó felvételi értékekre már nem voltak pozitív hatással a bioszénes kezelések a szár+levél esetében, melynek Ca-felvétele átlagosan 38217 g ha⁻¹ volt. A szem Ca-felvétele átlagosan 34%-os csökkenést mutatott a legmagasabb kezelési szinteken.

6. táblázat
Kezelések hatása a kukorica K és Ca hozamára (g ha⁻¹ sz.a.)

Növényi rész (1)	Kezelés (2)	Kezelés szint (3)			
		1	2	3	4
szár + levél (4)	K				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	14596±4743 aA	29383±11263 aB	35204±16898 aA	43686 ± 22821 aA
	Oltott bioszén (9)	14596±4743 aA	24173±7268 aAB	30872±18543 aA	41502 ± 15646 aA
	Bioszén+oltó. (10)	14596±4743 aA	17277±6323 aAB	39660±8343 bA	43967 ± 7873 bA
	Oltóanyag (11)	14596±4743 aA	12188±6286 aA	13283±6086 aA	18489±10644 aA
	Karbonátos homok (7)				
	Bioszén (8)	13025±1965 aA	17615±6605 abA	21752 ± 2738 abB	29728 ± 9685 bB
	Oltott bioszén (9)	13025±1965 aA	19070±4676 abA	24968 ± 911 bB	35964 ± 3660 cB
	Bioszén+oltó. (10)	13025±1965 aA	14028±3821 aA	25369 ± 2404 bB	36712 ± 2009 cB
	Oltóanyag (11)	13025±1965 aA	11245 ± 2767 aA	11135 ± 1854 aA	9824 ± 1301 aA
	szem (5)	Savanyú homok (6)			
Bioszén (8)		1738 ± 977 aA	3937 ± 2700 aA	3386 ± 2123 aA	3441 ± 2201 aA
Oltott bioszén (9)		1738 ± 977 aA	2562 ± 1250 aA	3029 ± 2820 aA	2985 ± 2578 aA
Bioszén+oltó. (10)		1738 ± 977 aA	1883 ± 1467 aA	4074 ± 2692 aA	5503 ± 1896 aA
Oltóanyag (11)		1738 ± 977 aA	1225 ± 1246 aA	1852 ± 1477 aA	2458 ± 2842 aA
szár + levél (4)	Ca				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	6239 ± 1643 aA	11633 ± 5295 aB	10333 ± 3211 aA	10008 ± 5597 aA
	Oltott bioszén (9)	6239 ± 1643 aA	7925 ± 1600 aAB	9675 ± 6324 aA	9206 ± 3671 aA
	Bioszén+oltó. (10)	6239 ± 1643 aA	7116 ± 2318 aAB	13308 ± 1746 bA	13137 ± 4176 bA
Oltóanyag (11)	6239 ± 1643 aA	4540 ± 2622 aA	6944 ± 4452 aA	7159 ± 3946 aA	
szem (5)	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	12,4 ± 1,54 aA	50,5 ± 34,8 aA	39,5 ± 10,3 aA	32,7 ± 14,5 aA
	Oltott bioszén (9)	12,4 ± 1,54 aA	31,0 ± 18,4 aA	45,0 ± 34,2 aA	42,9 ± 24,3 aA
	Bioszén+oltó. (10)	12,4 ± 1,54 aA	25,5 ± 19,0 abA	57,5 ± 41,0 abA	67,1 ± 17,9 bA
	Oltóanyag (11)	12,4 ± 1,54 aA	13,0 ± 13,8 aA	25,5 ± 13,9 aA	28,2 ± 32,3 aA
	Karbonátos homok (7)				
	Bioszén (8)	118 ± 2,60 aA	114 ± 25,6 aA	138 ± 34,3 aA	66,6 ± 35,8 aA
	Oltott bioszén (9)	118 ± 2,60 aA	130 ± 49,8 aA	93,4 ± 39,6 aA	109 ± 11,5 aA
	Bioszén+oltó. (10)	118 ± 2,60 bA	109 ± 11,5 bA	91,4 ± 48,6 abA	59,5 ± 9,56 aA
	Oltóanyag (11)	118 ± 2,60 aA	150 ± 21,4 aA	139 ± 38,8 aA	107 ± 71,8 aA

Megjegyzés: lásd 3. táblázat.

A Mg felvétele a Ca-hoz hasonlóan alacsonyabb értékeket mutatott savanyú homokon, amit a szár+levélben átlagosan 57%-kal, a magban pedig 2,2-szeresen növeltek meg a legmagasabb dózisú bioszenet tartalmazó kezelések (7. táblázat). A karbonátos homokon a Mg felvétel a savanyú homokon mért többszöröse volt, amit a kezelések nem befolyásoltak, így ezeket az adatokat nem közöljük. A Mg-felvétel karbonátos homokon a szár+levélben átlagosan 20113 g ha⁻¹, a szemben átlagosan 1556 g ha⁻¹ volt.

A bioszenet tartalmazó kezelések emelkedő dózisainak hatására a Zn felvétel többnyire enyhe növekvő tendenciát mutatott a szár+levél esetében mindkét talajon, ami általában az enyhén csökkenő Zn-tartalom és a növekvő hozam eredőjeként alakult ki. A szem Zn felvétele savanyú homokon mutatott változást: a kontrollhoz képest jellemzően két-háromszoros körüli értékeket kaptunk, nemcsak a 4-es, de már 3-as dózisoknál is (7. táblázat). Karbonátos homokon a szem Zn felvétele

átlagosan 32,9 g ha⁻¹ volt, mely nem mutatott számottevő vagy következetes változást, így a kezelésenkénti adatokat nem közöljük.

7. táblázat.

Kezelések hatása a kukorica Mg és Zn hozamára (g ha⁻¹ sz.a.)

Növényi rész (1)	Kezelés (2)	Kezelés szint (3)			
		1	2	3	4
szár + levél (4)	Mg				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	2520 ± 1236 aA	3797 ± 1776 aB	3637 ± 1334 aAB	4038 ± 2027 aA
	Oltott bioszén (9)	2520 ± 1236 aA	2603 ± 663 aAB	1884 ± 156 aA	3329 ± 1072 aA
	Bioszén+oltó. (10)	2520±1236 abA	1191 ± 649 aA	4498 ± 497 bB	4514 ± 1213 bA
	Oltóanyag (11)	2520 ± 1236 aA	1428 ± 762 aAB	1843 ± 935 aA	2184 ± 1424 aA
szem (5)	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	439 ± 263 aA	915 ± 570 aA	843 ± 477 aA	878 ± 544 aA
	Oltott bioszén (9)	439 ± 263 aA	614 ± 283 aA	782 ± 723 aA	729 ± 532 aA
	Bioszén+oltó. (10)	439 ± 263 aA	493 ± 381 aA	992 ± 636 aA	1335 ± 466 aA
	Oltóanyag (11)	439 ± 263 aA	281 ± 283 aA	442 ± 337 aA	548 ± 602 aA
szár + levél (4)	Zn				
	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	108 ± 43,2 aA	159 ± 52,6 aB	132 ± 34,1 aA	113 ± 10,4 aA
	Oltott bioszén (9)	108 ± 43,2 aA	134 ± 31,3 aAB	110 ± 37,8 aA	123 ± 57,7 aA
	Bioszén+oltó. (10)	108 ± 43,2 aA	115 ± 35,2 aAB	159 ± 31,8 aA	139 ± 49,9 aA
	Oltóanyag (11)	108 ± 43,2 aA	69,6 ± 36,8 aA	110 ± 55,6 aA	126 ± 76,1 aA
	Karbonátos homok (7)				
	Bioszén (8)	74,8 ± 8,12 aA	76,7 ± 36,7 aA	84,8 ± 31,3 aA	91,6 ± 21,4 aA
	Oltott bioszén (9)	74,8 ± 8,12 aA	93,7 ± 19,5 aA	106 ± 52,6 aA	103 ± 34,6 aA
	Bioszén+oltó. (10)	74,8 ± 8,12 abA	78,4 ± 9,39 abA	90,8 ± 10,5 bA	63,5 ± 5,00 aA
Oltóanyag (11)	74,8 ± 8,12 aA	71,3 ± 6,70 aA	67,9 ± 5,11 aA	82,0 ± 13,3 aA	
szem (5)	Savanyú homok (6)				
	Bioszén (8)	11,1 ± 5,87 aA	26,0 ± 19,9 aA	20,6 ± 12,1 aA	22,2 ± 12,5 aA
	Oltott bioszén (9)	11,1 ± 5,87 aA	17,1 ± 8,84 aA	27,3 ± 33,7 aA	22,8 ± 24,8 aA
	Bioszén+oltó. (10)	11,1 ± 5,87 aA	13,0 ± 10,2 aA	25,6 ± 16,6 aA	34,4 ± 12,7 aA
	Oltóanyag (11)	11,1 ± 5,87 aA	7,95 ± 8,08 aA	12,2 ± 9,05 aA	14,5 ± 16,8 aA

Megjegyzés: lásd 3. táblázat.

Mivel a bioszén nélkül alkalmazott oltóanyag a növényi összetételre nem hatott, ezért a kezelések hatására fellépő elemhozam különbségek a terméshozamban és az összetételben jelentkező ingadozások eredőjeként váltakozó, nem egyértelmű tendenciákat mutattak.

Az eredmények értékelése

Az eredmények értékelésekor utalunk a talajvizsgálati és terméshozam adatokra, melyeket a kísérletről szóló korábbi cikkben közöltünk részletesen (RÉKÁSI et al., 2019). A korábbi eredmények szerint a bioszén tartalmazó kezelések maximális adagjai átlagosan 5,9-re növelték a nyírlugosi kontroll talajon mért 4,4-es pH-t, ami elvileg a Fe, Zn és Mn kivételével a legtöbb elem felvehetőségét javíthatta. Az őrbottyáni talaj kémhatását a kezelések nem

befolyásolták. A kukorica betakarításakor végzett talajvizsgálati eredmények szerint a nyírlugosi talajon a bioszenet tartalmazó kezelések hatására az $\text{NH}_4\text{-N}$ csökkent, ami a pH növekedése miatti intenzívebb nirtifikáció eredménye lehetett. Az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ koncentráció a nyírlugosi talajon szignifikánsan, a legmagasabb dózisok hatására 60-80%-kal nőtt, az őrbottyáin pedig növekvő tendenciát mutatott a bioszenes kezelések hatására. Az $\text{AL-K}_2\text{O}$ az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ koncentrációhoz hasonló növekedést mutatott. Az elemtartalom és elemhozam értékelésénél is figyelembe kell venni a biomassza hozamot. A terméshozamra túlnyomórészt pozitív hatással voltak a bioszenes kezelések. A savanyú és meszes homok kontrollján a szár+levél hozama sorrendben 1,8 és 4,2 t ha⁻¹ volt, amiket a legmagasabb dózisú bioszenet tartalmazó kezelések sorrendben átlagosan 3,0 és 5,4 t ha⁻¹-ra növeltek. Szignifikáns hatást viszont csak a savanyú talajon alkalmazott bioszén+oltóanyag, valamint karbonátos talajon az oltóanyaggal kezelt bioszén produkált, ami sorrendben 91 és 44%-os növekményt jelentett. A szemtermés esetében savanyú és meszes homokon a 0,4 és 1,3 t ha⁻¹ hozamok 0,9 és 1,2 t ha⁻¹-ra módosultak sorrendben. A kezelések tehát érdemben csak savanyú homokon hatottak a szemtermésre, ahol a bioszén+oltóanyag megháromszorozta a hozamot, azonban vélhetően a szárazság miatt, szignifikáns különbségek mégsem alakultak ki (RÉKÁSI et al., 2019).

A tesztnövény lényegében változatlan N koncentrációja alapvetően pozitív eredménynek minősíthető, hiszen azt jelzi, hogy a kezelés hatására többnyire emelkedő biomassza magasabb N-igényét a talaj fedezni tudta, és nem alakult ki a bioszén kezelés során megnövekedett C:N arány miatti N csökkenés, amit LEHMANN et al. (2003) és ALBURQUERQUE et al. (2013) tapasztaltak. Egy másik kísérletben a bioszén 30 és 60 g kg⁻¹-os adagja csökkentette a talaj ásványi N-tartalmát, valamint a bablevél N-tartalmát, de a N felvétel emelkedést mutatott, és a bioszén kezelés a biológiai N fixációt stimulálta (RONDON et al., 2007). A savanyú homoktalajon a szár+levél N hozama a bioszén+oltóanyag 4-es és 3-as dózisa esetében nőtt a legnagyobb mértékben, de az oltott és az önmagában kijuttatott bioszén legmagasabb adagja is szignifikáns emelkedést okoztak. A szem N hozamát csak a maximális adagú bioszén+oltóanyag növelte szignifikánsan (5. táblázat). A N felvétel alakulásában szerepet játszhat a két alkalmazott asszociatív nitrogénkötő baktériumtörzs - *Azospirillum brasilense* NF7 és az *Azospirillum brasilense* 242/9 megfelelő szaporodása és működése is. Továbbá az önmagában alkalmazott oltóanyag hatására emelkedő növényi N-felvétel savanyú homokon a növényi növekedést elősegítő baktériumok pozitív szerepére utalhat.

Bioszén hatására savanyú homokon többnyire enyhén növekvő, míg a karbonátos homokon csökkenő P-tartalom a kukoricaszár+levélben azt jelzi, hogy a foszforellátást a bioszén P-tartalmán kívül annak pH-ja is nagyban befolyásolta. Karbonátos talajon a magas Ca-tartalom miatt a foszfor Ca-foszfátok formájában megkötődhet (BLASKÓ, 1983; GUNDALE & DELUCA, 2007). Savanyú talajon viszont az emelkedő pH a Fe- és Al-foszfátok oldhatóságát növeli, így nőhetett a könnyen oldható foszforkészlet (MENGEL, 1976). A bioszén magas kationcsere kapacitása révén a szabad Al^{3+} és Fe^{3+} ionokat is képes megkötni, ami szintén a potenciálisan felvehető foszforfrakciók arányát növeli (DELUCA et al., 2009).

Kísérletünkben a nyírlugosi talajon az AL-P₂O₅ koncentráció a bioszén tartalmazó kezelések maximális adagjainál a bioszénrel kijuttatott AL-P₂O₅ mennyiségének átlagosan több mint kétszeresével emelkedett, ami szintén a fenti folyamatokat támasztja alá (RÉKÁSI et al., 2019). Savanyú homoktalajon a P hozam a szár+levélben az önmagában alkalmazott bioszén, míg a szemben a bioszén+oltóanyag alkalmazása esetén nőtt a legnagyobb mértékben, igaz nem szignifikánsan (5. táblázat). Figyelemre méltó az utóbbi, 3-szoros mértéket elérő növekedés, mely esetleg a Gram-pozitív - *Bacillus aryabhatai* LU44, *Arthrobacter crystallopoietes* S 153 és *Paenibacillus peoriae* S 284 - törzsek ásványi foszfát-oldó működésére utalhat (RODRIGUEZ & FRAGA, 1999; TAO et al., 2008; WO 2015/118516).

A talajvizsgálati eredményeknek, valamint a bioszén 1% körüli K-tartalmának megfelelően az alkalmazott bioszén erőteljes pozitív hatással volt a szár+levél K-tartalmának emelkedésére mindkét talajon (3. táblázat). Más kísérletek eredményei szintén megerősítik a bioszén kezelés pozitív hatását a tesztnövény kálium-tartalmára (LEHMANN et al., 2003; CHAN et al., 2007; MAJOR et al., 2010). A karbonátos homokon a szár+levélben mért 0,5-0,7% körüli K-tartalom összhangban van KÁDÁR & RADICS (2008) Örbottyánban mért korábbi adataival. Nyírlugoson viszont a szár+levél K-tartalma már 0,9-1,49%, ami CSATHÓ (1992) által leírt 1,36%-os optimumot közelíti, de a szerző ezt az értéket csernozjom talajon mérte 5,9 t ha⁻¹ szár és 9,7 t ha⁻¹ szemtermés mellett. Az örbottyáni talaj jobb K-ellátottsága és kétszeres szár+levél biomassza hozam alapján a nyírlugosi talajon valószínűleg a töményedési effektus (JARRELL & BEVERLY, 1981) miatt lehetett a K-tartalom két-háromszoros. A kukorica K-tartalmában mutatkozó különbségek a K-felvétel tekintetében tovább fokozódtak a kezelések hozamra gyakorolt pozitív hatása miatt (6. táblázat), kivéve a karbonátos homokon termett szem esetében, ahol az ingadozó, helyenként csökkenő hozam ellensúlyozta a növekvő K-tartalmat. Karbonátos homoktalajon a szár+levélben az oltóanyagokkal kombinált bioszén kezelésben jellemzően magasabb K-tartalmat és K-felvételt mértünk az önmagában alkalmazott bioszén kezeléséhez képest (3. és 6. táblázat). Két talajoltóanyag törzs, a *Paenibacillus peoriae* S 284 és az *Arthrobacter crystallopoietes* S 153 képes K mobilizálásra, így feltételezhetően a bioszén mellett ezek a talajoltó törzsek elősegíthették a K felvehetővé tételét a talajból a növények számára.

A növényi Ca-tartalmat és felvételt a bioszén Ca-tartalmán és pH-ján kívül a talaj Ca-tartalma is nagyban meghatározta, hiszen a nyírlugosi talaj 309 mg kg⁻¹ Ca-tartalmával szemben az örbottyáni 10554 mg kg⁻¹ koncentrációval rendelkezett. A nyírlugosi savanyú homokon termelt kukoricaszem növekvő Ca-tartalma a bioszén magas Ca-tartalmának, valamint a talaj pH-ra, és kationcsere kapacitásra gyakorolt hatásának eredőjeként alakulhatott ki, ami a hozam fokozásával a felvett Ca mennyiségében már többszörös változásokat eredményezett. MAJOR et al. (2010) 3,9-es pH_{KCl}-val rendelkező talajon 8 és 20 t ha⁻¹ bioszén kezelés hatására a kukoricában szintén növekvő Ca- és Mg-felvételt tapasztalt a terméshozam növekedésével párhuzamosan. A Mg-tartalomban és felvételben szintén többszörös

különbségek alakultak ki a két eltérő talajon, amit a karbonátos homoktalaj jóval magasabb Mg ellátottsága eredményezett.

A Zn-tartalom alakulásán is elsősorban a talaj hatása mutatkozik meg, ami a szár+levélben háromszoros a savanyú talajon a karbonátoshoz képest. A Zn mozgékonyasága a pH emelkedésével csökken, ami mindkét talajon megmagyarázza a bioszén által kiváltott csökkenést a növényi összetételben. Az eredményt megerősíti GARTLER et al. (2013) által 5,6 pH-jú vályogtalajon beállított bioszén kísérlet, melyben a kezelés hatására a legtöbb termesztett növény, többek között a kukorica Zn koncentrációja nem-szignifikáns mértékben csökkent.

Következtetések

Az önmagában, valamint oltóanyaggal kijuttatott bioszén hatással volt a kukorica elemösszetételre és az egységnyi területről a növény által felvett elemmennyiségre. Az adatok alapján a bioszenet tartalmazó kezelések nemcsak a bioszén elemösszetételéből adódóan hatottak, hanem a nyírlugosi savanyú homok pH-jának a növelésével. A bioszénrel együtt alkalmazott oltóanyag egyes esetekben a legmagasabb növényi N, P és K felvételt eredményezte. Ez alapján a két anyag kölcsönös pozitív hatása feltételezhető, melynek alaposabb megismerése további részletes vizsgálatokat igényel. Az önmagában alkalmazott oltóanyag szintén segítette a N felvételét.

Összefoglalás

Az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetének kísérleti állomásain nyírlugosi savanyú és őrbottyáni karbonátos homoktalajon szabadföldi kísérletben vizsgáltuk bioszén, bioszénre oltott és bioszénhez kevert saját hordozóján lévő baktérium oltóanyagos kezelést, valamint önmagában alkalmazott oltóanyag hatását kukorica elemösszetételére és elemfelvételére. A 4 kezelés 4 szinttel lett beállítva: 0, 3, 15 és 30 t ha⁻¹ bioszén, valamint kombinációnként változóan 0-tól 2,1x10¹¹–1x10¹³ CFU ha⁻¹ oltóanyaggal. A kísérlet 4 ismétléssel 64 parcellát eredményezett mindkét helyen ismétlésenként véletlen blokk elrendezésben. A 20 m²-es (4x5 m) parcellák szélén körben 1 m szegélyt hagyunk, így a nettó parcella 6 m² (2x3 m) területű volt. A műtrágyázás az ajánlott NPK ásványi műtrágya dózisának felével történt. A vegetációs időszak csapadékelátottsága messze elmaradt az 50-éves átlagtól és a kukorica tesztnövény optimális vízellátottságától, így a terméshozamok is alacsonyak maradtak, különösen a nyírlugosi talajon.

A növényminták vizsgálatokhoz való előkészítését, valamint elemösszetételét a hatályos Magyar Szabványok alapján határoztuk meg.

A növényi N és Mg koncentrációkban a kezelések nem okoztak változást. Az emelkedő bioszenes kezelések hatására a foszfortartalom a savanyú talajon enyhén nőtt a kukorica földfeletti részeiben, míg a karbonátoson alapvetően csökkent a szár+levélben, mely a bioszén+oltóanyag kezelésben szignifikáns volt. A K-tartalom látványosan, a nyírlugosi talajon átlagosan 61%-kal, az őrbottyáin

87%-kal nőtt a szár+levélben a legmagasabb dózisú bioszenes kezelések hatására. A növényi Ca-tartalom az őrbottyáni talajon eleve magasabb volt, ami a bioszenes kezelések hatására enyhén csökkent, a nyírlugosin viszont nőtt. A Zn-tartalom a szár+levélben mindkét termőhelyen csökkent az emelkedő bioszenes kezelések hatására. Az önmagában alkalmazott oltóanyag emelkedő adagjai nem okoztak változást a növényi összetételben.

A bioszenes kezelési dózisokkal többnyire emelkedő terméshozam miatt az elemhozamban markánsabb különbségek adódtak. A nyírlugosi talajon a kontrollhoz képesti növekmény a legmagasabb bioszenes kezelési szinteken N és K felvétel esetében 2-szerest meghaladó, a P, Ca és Mg felvételnél átlagosan sorrendben 67%, 73% és 57% a szár+levélben, a szemben pedig 2-3-szoros. Ez utóbbi a Zn hozamára is igaz volt, míg a szár+levélben csak enyhe növekedést mutatott. Az őrbottyáni talajon a szár+levélben 40% körüli N növekményt mértünk, a P, K, Ca felvételben elsősorban a szem esetében enyhe csökkenést tapasztaltunk, míg a Mg és Zn esetében gyakorlatilag nem volt hatása a bioszenet tartalmazó kezeléseknek.

A bioszénnel együtt alkalmazott oltóanyag egyes esetekben a legmagasabb növényi N, P és K felvételt eredményezte, így a két anyag kölcsönös pozitív hatása feltételezhető. Az önmagában alkalmazott oltóanyag szintén segítette a N felvételét.

Kulcsszavak: bioszén, oltóanyag, kukorica, elemhozam, homoktalaj

Kutatásunkat a Norvég Alap HU09-0029-A1-2013 számú „Talajoltóanyag és bioszén kombinált alkalmazása leromlott talajokra” című Kutatás-fejlesztési projekt támogatásával végeztük.

Irodalom

- 36/2006. (V.18.) FVM Rendelet: A termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról. Magyar Közlöny. **59**. 4784–4808.
- ALBURQUERQUE, J.A., SALAZAR, P., BARRÓN, V., TORRENT, J., DEL CARMEN DEL CAMPILLO, M., GALLARDO, A. & VILLAR, R., 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*. **33**. 475–484.
- 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: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. **111**. 81–84.
- ATKINSON, C.J., FITZGERALD, J.D. & HIPPS, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*. **337**. 1–18.
- BERGLUND, L.M., DELUCA, T.H. & ZACKRISSON, O., 2004. Activated carbon amendments to soil alters nitrification rates in Scots pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*. **36**. 2067–2073.

- BLASKÓ L., 1983. A talaj savanyú vagy túlmeszezett állapota és a foszfor szolgáltatók néhány összefüggése réti talajokon. *Agrokémia és Talajtan*. **32**. 399-406.
- BUSS, W., GRAHAM, M.C., SHEPHERD, J.G. & MAŠEK, O., 2016. Suitability of marginal biomass-derived biochars for soil amendment. *Science of the Total Environment*. **547**. 314-322.
- CEN/TS 16181:2013 Sludge, treated biowaste and soil - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by gas chromatography (GC) and high performance liquid chromatography (HPLC). www.nen.nl. Elérés dátuma: 2017. május 2.
- CHAN, K.Y., VAN ZWIETEN, L., MESZAROS, I., DOWNIE, A. & JOSEPH, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*. **45**. 629-634.
- CSATHÓ P., 1992. K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **41**. 241-260.
- CSATHÓ P., ÁRENDÁS T., FODOR N. & NÉMETH T., 2007. A legelterjedtebb hazai trágyázási szaktanácsadási rendszerek tesztelése szabadföldi kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. **56**. 173-190.
- CSATHÓ P., FODOR N., NÉMETH T. & ÁRENDÁS T., 2008. A jövedelmezőség alapja: szakszerű talajmintavétel + megbízható trágyázási rendszer. *Agrofórum*. **19**. (8) 32-35.
- DELL INC. RELEASED, 2015. DELL SOFTWARE STATISTICA Statistics for Windows, Version, 13.0 Round Rock, Texas: DELL INC.
- DELUCA, T.H., MACKENZIE, M.D. & GUNDALE, M.J., 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. In: LEHMANN, J. & JOSEPH, S. (Eds.) *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan. London. 251-270.
- GARTLER, J., ROBINSON, B., BURTON, K. & CLUCAS, L., 2013. Carbonaceous soil amendments to biofortify crop plants with zinc. *Science of the Total Environment*. **465**. 308-313.
- GLASER, B., BALASHOV, E., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G. & ZECH, W., 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*. **31**. 669-678.
- GLASER, B., LEHMANN, J. & ZECH, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*. **35**. 219-230.
- GULYÁS, M., FUCHS, M., RÉTHÁTI, G., HOLES, A., VARGA, Z., KOCSIS, I. & FÜLEKY, G., 2014. Szilárd pirolízis melléktermékekkel kezelt talaj vizsgálata tenyészedényes modellkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. **63**. 341-352.
- GUNDALE, M.J. & DELUCA, T.H., 2007. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglasfir ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*. **43**. 303-311.

- HOLES, A., SZEGI, T., FUCHS, M., GULYÁS, M. & ALEKSZA, L. 2014. Effects of different biochars, compost and lime treatments on the chemical properties of sandy soils. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. **1**. (2) 49–55.
- JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B., 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. **34**. 197–224.
- KÁDÁR I. & RADICS L., 2008. Műtrágyázás hatása a kukoricára karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*. **57**. 305–318.
- KÁSA I., MOLNÁR S. & HOREL Á., 2016. A hőmérséklet és a bioszén típusának, valamint mennyiségének hatása a talaj nettó nitrifikációjára. *Agrokémia és Talajtan*. **65**. 297–311.
- KNOEPP, J.D., DEBANO, L.F. & NEARY, D.G., 2005. Chapter 3: Soil Chemistry. In: Neary D.G., Ryan K.C. & DeBano L.F., (eds.), 2005. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 pp.
- KOCSIS T. & BIRÓ B., 2015. Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok – Szemle. *Agrokémia és Talajtan*. **64**. 257–272.
- KOVÁCS R., IMRE CS., PUSPÁN I., RIZÓ B., IMRI Á., PÉK N., KÁRPÁTI É., ÁRVAY GY., ROMSICS CS. & KUTASI J., 2017. Kedvezőtlen talajkémhatást és sóviszonyokat mutató, degradálódott talajokhoz alkalmazkodott stressztűrő baktériumok szelektálása és törzsgyűjtemény létrehozása. *Talajvédelem különszám, Okszerű talajhasználat - Talajvédelem, Talajvédelmi Alapítvány és Magyar Talajtani Társaság*, 2017, pp. 85–95.
- LEHMANN, J., DA SILVA, J.P. JR, RONDON, M., DA SILVA, C.M., GREENWOOD, J., NEHLS, T., STEINER, C. & GLASER, B., 2002. Slash-and-char: a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon? In: *Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century*. 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand. 14-21 August 2002. Paper No. 449. pp. 1–12.
- LEHMANN, J., DA SILVA, J.P. JR., STEINER, C., NEHLS, T., ZECH, W. & GLASER, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. **249**. 343–357.
- MAJOR, J., RONDON, M., MOLINA, D., RIHA, S.J. & LEHMANN, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*. **333**. 117–128.
- MENGEL, K., 1976. *A növények táplálkozása és anyagcseréje*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 365 pp.
- MSZ-08-1783-1:1983: Nagy teljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok kémiai mintaelőkészítési eljárása ásványi tápanyagok mennyiségi meghatározásához. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest

- MSZ-08-1783-6:1983: Nagy teljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok nitrogéntartalmának mennyiségi meghatározása. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- MSZ-08-1783-26:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok kalciumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- MSZ-08-1783-27:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok magnéziumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- MSZ-08-1783-28:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok foszfortartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- MSZ-08-1783-29:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok káliumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- MSZ-08-1783-33:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok cinktartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- RÉKÁSI M., SZILI-KOVÁCS T., TAKÁCS T., BERNHARDT B., PUSPÁN I., KOVÁCS R., KUTASI J., DRASKOVITS E., MOLNÁR S., MOLNÁR M. & UZINGER N., 2019. Improving the fertility of sandy soils in the temperate region by combined biochar and microbial inoculant treatments. *Archives of Agronomy and Soil Science*. **65**. (1) 44-57.
- RÉKÁSI M. & UZINGER N., 2015. A bioszén felhasználásának lehetőségei a talaj tápanyag-utánpótlásában – Szemle. *Agrokémia és Talajtan*. **64**. 239–256.
- RODRIGUEZ, H. & FRAGA R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. **17**. 319–339.
- RONDON, M.A., LEHMANN, J., RAMÍREZ, J. & HURTADO, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility of Soils*. **43**. 699–708.
- SANCHEZ, P.A., VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E., 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal*. **47**. 1171–1178.
- SAXENA, J., RANA, G. & PANDEY, M. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of french beans. *Scientia Horticulturae*. **162**. 351–356.
- SULYOK D. & MEGGYES A., 2008. A kukorica öntözésének technológiai és gazdasági kérdései. <http://www.agroaqua.hu/download/02.pdf>. Elérés dátuma: 2017. január 17.
- TAO, G.C., TIAN, S.J., CAI, M.Y. & XIE, G.H., 2008. Phosphate-solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. *Pedosphere*. **18**. 515–523.
- TOLNER, L., KOCSIS, I., CZINKOTA, I., TOLNER, I.T., GULYÁS, M. & FÜLEKY, G., 2015a. A talajba kevert szilárd pirolízis termékek hatása a talajminták NIR reflektanciájára. *Talajvédelem 2015. Különszám*. 363–372.

- TOLNER, L., SIMÁNDI, P., RÁCZ, I., OTTA, E. & CZINKOTA, I., 2015b. Műanyagok alacsony hőmérsékleten végzett termolízise eredményeképpen kapott maradék talajba keverhetőségét megalapozó vizsgálatok. *Talajvédelem* 2015. Különszám. 357–362.
- TRYON, E.H., 1948. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*. **18**. 81–115.
- 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.
- WANG, T., CAMPS-ARBESTAIN, M., HEDLEY, M. & BISHOP, P., 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant and Soil*. **357**. 173–187.
- WANG, T., CAMPS-ARBESTAIN, M. & HEDLEY, M., 2014. The fate of phosphorus of ash-rich biochars in a soil-plant system. *Plant and Soil*. **375**. 61–74.
- WO 2012/038740. Soil treatment process. <https://patentscope.wipo.int/> Elérés: 2017. február 26.
- WO 2012/093374. Soil bacteria containing fertilizer and method for its preparation. <https://patentscope.wipo.int/>. Elérés: 2017. február 26.
- WO 2015/118516. Soil bacteriae for inoculating stress soils. <https://patentscope.wipo.int/> Elérés: 2017. február 26.

Effect of biochar and microbial inoculant on the element composition and element yield of maize on acidic and on calcareous sandy soils

¹P. RAGÁLYI, ^{1*}B. BERNHARDT, ¹M. RÉKÁSI, ¹E. DRASKOVITS, ¹S. MOLNÁR,
²M. MOLNÁR, ³J. KUTASI, ¹N. UZINGER

¹Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

²Department of Applied Biotechnology and Food Science, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, University of Technology and Economics, Budapest

³BioFil Microbiological, Biotechnological and Biochemical Ltd., Budapest

Summary

Effect of biochar, inoculated biochar, biochar+inoculant fixed on conventional carrier, and inoculant application was studied on element concentration and uptake of maize at two experimental stations of the Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences on calcareous sandy soil in Örbottyán and on acidic sandy soil in Nyírlugos. The four different treatments were set up at four different levels: 0, 3, 15 and 30 t ha⁻¹ biochar, and 0–4x10¹¹–1x10¹³ CFU ha⁻¹ inoculant depending on treatment combinations. The 4 replications resulted in 64 plots carried out in random block design at both sites. At the edges of the plots measuring 20 m²

(4 x 5 m), 1 m wide margin was left, thus the net area of the plots were 6 m² (2 x 3 m). The fertilization was done using half of the recommended NPK mineral fertilizer doses. Precipitation in the vegetation period was far below the 50-year average and the optimal water demand of maize, thus crop yields remained low, especially on the acidic sandy soil.

Preparation for the tests, as well as the element composition of plant samples were determined according to Hungarian Standards.

Treatments did not alter N and Mg concentrations in aboveground plant tissue. Due to increasing rates of treatments involving biochar, phosphorus content increased slightly on acidic soil in the aboveground parts of maize, whereas on calcareous soil it basically decreased in stem+leaves, but the difference was significant only in the biochar+inoculant treatment. K content in the stem+leaves spectacularly increased by 61% on acidic soil and by 87% on calcareous soil at the highest doses of biochar. Ca content of plants on calcareous soil was higher, which decreased slightly, whereas on acidic soil it increased due to biochar treatments. Zn content in the stem+leaves decreased at both sites due to rising biochar rates. Increasing doses of inoculant solely did not cause any changes in plant composition.

Generally increasing yields due to biochar treatments resulted in more remarkable differences in the amount of uptaken elements by maize. The increment was more than 2 times higher in the case of N and K uptake at the highest biochar treatment level on acidic soil, whereas for P, Ca and Mg it was 67%, 73% and 57%, resp. in the leaves+stem and 2-3 fold in the grain, compared to control. The latter was also true for the uptake of Zn, whereas in the stem+leaves there was only a slight increase. On the calcareous soil N uptake by the stem+leaves increased by about 40%, whereas P, K and Ca uptake by grain slightly decreased. In the case of Mg and Zn, the treatments involving biochar had practically no effect.

Combined application of vaccine together with biochar in some cases resulted in the highest N, P and K uptake by maize, thus the mutual positive effects of the two substances can be assumed. The solely applied inoculant could also promote the uptake of N.

Keywords: biochar, inoculant, maize, element yield, sandy soil

Tables and figures

Table 1. Physical and chemical properties of the examined soils and biochar. (1) Property, Acidic sand (2), Calcareous sand (3), Biochar (4), Organic matter, % (5), Sand % (above 0.050 mm diameter) (6), Silt % (0.002-0.050 mm) (7), Clay % (below 0.002 mm) (8), total N (m/m%) (9), total P (mg kg⁻¹) (10), total K (mg kg⁻¹) (11), Ammonium-lactate-soluble P₂O₅ (mg kg⁻¹) (12), Ammonium-lactate-soluble K₂O (mg kg⁻¹) (13), total Ca (mg kg⁻¹) (14), total Mg (mg kg⁻¹) (15), total Zn (mg kg⁻¹) (16), * The measurement was done according to the modified Walkley-Black method. Total C content (60.4%) was determined by the incineration of the biochar.

Table 2. Treatments applied in the experiment (based on RÉKÁSI et al., 2019). Treatment (1), Level (2), Acidic sand (Nyírlugos) (3), Biochar (4), Inoculated biochar (5), Biochar + inoculant (6), Inoculant (7), control (8), Calcareous sand (Őrbottyán) (9)

Table 3. Effect of treatments on P and K concentrations in maize (mg kg^{-1} d.m.). Plant part (1), Treatment (2), Level (3), stem+leaves (4), grain (5), Acidic sand (6), Calcareous sand (7), Biochar (8), Inoculated biochar (9), Biochar+inoculant (10), Inoculant (11). Note: Mean values and standard deviations of harvested plant samples (maize grain, leaves+stem) on different soils (Nyírlugos, Őrbottyán) in 2015. Lower case indicates significant differences between columns, i.e. between treatment levels within the specified treatments; capitals significant differences between rows, i.e. between the different treatments at the specified level (Tukey post hoc test; $p \leq 0.05$).

Table 4. Effect of treatments on Ca and Zn concentrations in maize (mg kg^{-1} , d.m.). Expressions of the Table and Note are identical with those of in Table 3.

Table 5. Effect of treatments on N and P uptake by maize (g hectare^{-1} , d.m.). Expressions of the Table and Note are identical with those of in Table 3.

Table 6. Effect of treatments on K and Ca uptake by maize (g hectare^{-1} , d.m.). Expressions of the Table and Note are identical with those of in Table 3.

Table 7. Effect of treatments on Mg and Zn uptake by maize (g hectare^{-1} , d.m.). Expressions of the Table and Note are identical with those of in Table 3.

Open Access nyilatkozat: A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)
