

BIOSZÉN HATÁSA EGYES TALAJBAKTÉRIUM CSOPORTOK ALAKULÁSÁRA ÉS ZÖLDBORSÓ FEJLŐDÉSÉRE *IN VITRO* MODELLKÍSÉRLETBEN

**KÓKAI ANETT – ALI HAIDER – SAADI HAYTHEM – BIRÓ BORBÁLA –
RINGER MARIANNA – KOCSIS TAMÁS**

Összefoglalás

*Világunk egyik jelentős kihívása a talajok termőképességének folyamatos csökkenése. A természetes és antropogén folyamatok hatására csökkenő termésátlagok új agrotechnikai technológiák, módszerek alkalmazását teszi szükségessé. A termőföldek víz- és tápanyagmegkötő képességének javítására, az egyik világszinten alkalmazott eszköz a bioszén, amely szerves anyagok termokémiai bontásával állítható elő. A pirolízis eredményeként a biomassza alapú nyersanyag széntartalma aromás szénecsoportokká, amorf és grafitos szerkezetté alakul, amit bioszénnek nevezünk. Munkánk során *in vitro* kísérletben vizsgáltuk, fabrikettből előállított bioszén hatását egy gyengén humuszos homoktalaj mikrobiológiai aktivitására és diverzítására, valamint zöldborsó (*Pisum sativum* L.) növekedésére. Kilenc hetes cserépedény kísérletben, négy párhuzamos mérésben került beállításra növekvő dózisban (m/m%-ban kifejtve) bioszén. Hetente vizsgáltuk a talajból kitenyészthető baktériumok mennyiségét és az egyes biokémiai csoportok arányát. A kísérlet végén meghatároztuk a tesztnövény biomassza tömegét (hajtás+gyökér), valamint a kezelések hatására változó gyökérgümők alakulását. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy egyes biokémia gyorsteszték (kataláz-, oxidáz próba) összevonva a sejt mikromorfológiai jellemzőkkel, alkalmas lehet a talaj mikrobiomban elinduló változások kimutatására. A vizsgált talajban, az optimális bioszén dózis/kezelés meghatározásakor, figyelembe kell venni a gazdanövény és a mikrobák eltérő környezeti igényeit, ugyanis a növényi biomassza termelés optimuma nem volt teljes átfedésben a nitrogénkötő gyökérgümők mennyiségével.*

Kulcsszavak: talajbiológia, kataláz, baktérium morfológia, gyökérgümők

THE EFFECT OF BIOCHAR ON THE CHANGES OF SOME SOIL BACTERIAL GROUPS AND THE DEVELOPMENT OF GREEN PEAS - *IN VITRO* MODEL EXPERIMENT

Abstract

One of the major challenges of our world is the continuous decreasing soil productivity. The decreasing crop averages due to natural and anthropogenic processes necessitate the application of new agrotechnical technologies and methods. Biochar, which can be produced by the pyrolysis decomposition of organic materials, is one of the tools used worldwide to improve the water and nutrient retention capacity of soils. During the pyrolysis, the carbon content of the biomass-based raw material turns into aromatic carbon groups, and amorphous and graphitic structures, which is called biochar. Our aim was to investigate the effect of plant coal biochar on the microbiological activity- and diversity of low-humus sandy soil and on the

growth of green peas (Pisum sativum L.) in an in vitro experiment. In the nine-week pot experiment, four parallel measurements were set up on increasing biochar doses (expressed in m m%) to determine the optimal concentration. The amount of bacteria that could be cultivated from the soil and the proportion of each biochemical group were examined once per week. At the end of the experiment, the mass of the biomass of the test plant (shoot + root) was determined, as well as the number of the root nodules, which change as a result of the treatments. Based on our results, some rapid biochemistry tests (catalase and oxidase) combined with the micromorphological characteristics of the cells may be suitable for detecting changes in the soil microbiome. In the examined soil, when determining the optimal amount/treatment of biochar, take attention to the different environmental needs of the plant and the microbes, since the optimum of plant biomass production did not completely overlap with the number of nitrogen-fixing root nodules.

Keywords: soil biology, biochar, catalase, bacterial morphology, root nodules

Bevezetés

A XX. században bekövetkezett ipari fellendülés következtében, a helyi társadalmaknak több, globálisan jelentkező, a talaj termőrétegre kedvezőtlenül ható jelenséggel kell szembenéznie, melyek sürgős és hatékony megoldásokat egyaránt igényelnek (GARCÍA-RUIZ, 2010). Ilyen probléma például a növekvő népességszám, mellyel a mezőgazdasági termelés nem tud lépést tartani (HAMORY et al., 2021). A művelésbe vonható területek növelése, a rossz termőképességű talajok művelésbe vonása, a helytelen öntözés mind a termőrétegek eróziójához vezet. Az antropogén tevékenység hatására, a légkör ÜHG koncentrációjának további erősödése várható (KOTROCZÓ et al., 2020; FEKETE et al., 2021), ami a Föld átlaghőmérsékletének emelkedésben nyilvánul meg (KOTROCZÓ et al., 2008), ezáltal a földrajzi övezetek eltolódhatnak (JEFFRY et al., 2021). Egyes fajok eltűnhetnek, míg más fajok elszaporodhatnak, e változások alól talajökoszisztémák sem kivételek. Ismeretlen, akár kórokozó mikroorganizmusok jelenhetnek meg (HALÁSZ et al., 2022), melyek a talaj termelékenységének veszélyeztetésén túl élelmiszerbiztonsági kockázatot is jelenthetnek (KOCSIS et al., 2020).

Világszerte több helyen folynak kísérletek arra vonatkozóan, hogy a talaj termelékenységének romlását miként lehetne megelőzni (TAEHO et al., 2021; JUHOS et al., 2021; KARDOS et al., 2022), illetve a már meglévő, valamint újonnan művelésbe vett rossz minőségű talajok „egészségét” helyreállítani (PAPP et al., 2021; KOVÁCS-BOKOR et al., 2021). Az egyik, erre a célra öszpontosító kísérletek eszköze a bioszén („biochar”), melyet az Amazonas-medencében élő őslakos indiánok már több mint 2500 éve is alkalmaztak a gyenge víz-, és tápanyag gazdálkodású trópusi talajok termőképességének javítására (KOCSIS et al., 2015). Ma ezeket a talajokat „Terra preta” vagyis „fekete föld” néven ismeri a szakirodalom. A tradicionális technológia 21. századi, ipari szintre történő léptéknövelése a bioszén, amelynek talajba juttatása nagyfokú érdeklődést és aggodalmakat egyaránt kivált (LENG et al., 2019; HADIYA et al., 2022).

Előállításánál biológiai eredetű hulladékot és mellékterméket reduktív pirolízis során, magas hőmérsékleten 600-800°C mesterségesen elszénésítenek, így egy intakt, grafitos szerkezetű, anyag keletkezik, amelynek perzisztens frakciója évtizedekig, de akár évszázadokig képes szerkezeti változás nélkül, a talajban maradni a bedolgozást követően (LEHMANN et al., 2021).

A talajba forgatott bioszén kedvező hatással bír a talaj szén-, víz- és tápanyag megkötő képességére (ZHU et al., 2019). Előnyösen befolyásolva ez által annak talajok termőképességét, ugyanakkor az összes mechanizmusa még ismeretlen. Nincs elegendő tapasztalatunk arról,

hogy az alapanyag elszenesítésének hatására bekövetkezett nagymértékű térfogatvesztés eredményezheti-e a nehézfémek koncentrációjának növekedését. Egyes szerzők beszámoltak a tökéletlen égés következtében keletkező policiklikus aromás szénhidrogén talajba kerüléséről (KOC SIS et al., 2015), míg továbbra sem egyértelmű, hogy a bioszén milyen új életteret nyit meg a talaj-mikrobióta számára.

A bioszén potenciális hatásai a talajok biológiai tulajdonságaira

A bioszén pozitív hatását a talaj mikrobiális biomassza tömegére különböző módszerekkel végzett vizsgálatok eredményei már igazolták. Több kutatás eredményéből megállapítható, hogy a bioszénrel kezelt talajokban nőtt a mikrobák reprodukciós rátája (ZHOU et al., 2019), melyet közvetve befolyásolt a bioszén hatására, a biológiai bomlás során képződő metán mennyiségének növekedése is. Valamint megfigyelték az anaerob és cellulózbontó baktériumok mennyiségének növekedését is (SHA et al., 2022). A mikrobiális biomassza a bioszén talajba keverésének hatására történő tömeggyarapodása általánosan tapasztalt jelenség (GUL et al., 2015; HARDY et al., 2019), viszont a gyarapodás mértékét a vizsgált mikrobacsoportok ökofiziológiai tulajdonságai jelentős mértékben meghatározzák (MARTOS et al., 2020). A bioszén alkalmazásának feltétele tehát jelentős mértékben függ az adott talaj tulajdonságaitól, a környezeti körülményektől, a bioszén alapanyagtól, dózisától és számos más biotikus és abiotikus tényezőtől. A mikrobiális közösség mennyiségi alakulásánál nem csak kedvező, de a talajeredetű, az élelmiszerek minősége és -biztonsága szempontjából potenciális patogén mikroorganizmusok is felszaporodhatnak (GRABER et al., 2014). Talajvédelmi szempontból az ilyen irányú kutatások nagy jelentőséggel bírnak, mivel a talaj mikrobiológiai közösségei kihatnak annak funkcióira és a talaj ökoszisztéma szolgáltatásaira egyaránt.

Vizsgálatunk célja ezen kérdések tudatában, hogy megvizsgáljuk a bioszén dóziszfüggő hatását a talaj mikrobiológiai aktivitására, valamint a talaj-mikrobióta diverzitására. A manapság méltán népszerű DNS kivonáson alapuló környezetmikrobiológiai eljárások helyett, a klasszikus, tenyésztésre alapozott eljárást alkalmaztuk. Erre azért volt szükség, mert a két módszer eredményeinek összehasonlítása során kiderült, hogy az átfedés kevesebb, mint 40% (JAYAWARDENA et al., 2018). Mivel a kutatás célja a bioszén hatásának vizsgálata elsősorban a domináns fajokon, így a tenyésztéses eljárás alkalmazása tűnt logikus döntésnek. A fent leírtak tükrében, a talajminták feldolgozása során, a mikroba mennyiségi változását vizsgálatuk aerob és anaerob körülmények között, majd az izolált baktériumtörzseket morfológiai és biokémiai (Gram-teszt, Kataláz teszt, Oxidáz teszt) vizsgálati módszerekkel csoportosítottuk.

Anyag és módszer

A kísérlet megtervezése

In vitro kísérletsorozatban, gyengén humuszos homoktalajt (H: ~1,5%) vizsgáltunk a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemen. A kísérletben 24 °C-os nappali (14 óra, 14000 LUX) és 18°C fokos éjszakai (10 óra) hőmérsékletre és 60%-os vízkapacitás fenntartására törekedtünk, tömeg visszamérés alapján. A növényi alapanyagból készült bioszén, az ausztriai Land Management cég állította elő fabriketből (bükk és tölgy). Tenyészedény kísérletben tesztnövényként zöldborsót (*Pisum sativum* L.) használtunk. A pillangós virágúakról ismert, hogy gyökérszövetén gyökérgümők fejlődnek (*Rhizobium* nemzetség), amelyek a növényvel szimbiózisban élve hozzájárulnak a légköri nitrogén megkötéséhez, ezáltal jól alkalmazható a rizoszféra aktivitás modellezésére (EAGLESHAM, 1990).

A nitrogén-foszfor-kálium tartalom (1. táblázat) meghatározás után a kapillaris vízmegtartó képesség 60%-án tartottuk a talaj a nedvességet.

1. táblázat: A növény számára felvehető NPK teszt-eredmények a vizsgált talajban
Table 1. NPK test results for the plant in the soil

NO ₃ ⁻¹ /NO ₃ ⁻²	5 mg/L
NH ₄ ⁺	0,5 mg/L
PO ₄ ⁻ /P	0 mg/L
K ⁻¹ /K ⁻²	30 mg/L

A kísérlet beállításakor, a bioszén hat különböző dózisban (2. táblázat) négy párhuzamos ismétlésben lett a talajba juttatva.

2. táblázat: A kísérlet során alkalmazott dózisok talaj-bioszén összetétele
Table 2. Soil biochar composition of the doses used in the experiment

Dózis (%)	0	0,5	1	2,5	5	10
Talaj (g)	500	497,5	495	487,5	475	450
Bioszén (g)	0	2,5	5	42,5	25	50

Mintavétel és -feldolgozás módszertana

Minden cserépedényből hetente egyszer talajmintát gyűjtöttünk a kilenc hetes kísérlet során. A talajminták mikrobiológiai feldolgozását felületi szélesztéssel végeztük MSZ EN ISO 4833:2014-es szabvány alapján. Az aerob tenyésztés „Trypticase-peptone-Glucose-Yeast Extract Broth”- 0,5% tripton glükóz 1%, 0,25% élesztőkivonat, - (TGE) tápalajon, míg az anaerob tenyésztést „Reinforced Clostridial Differential Broth” - 0,05% ammónium-ferrocitrát, 0,05% ciszteín, 0,5% glükóz, 0,3% nátrium-acetát, 0,5% nátrium-klorid, 0,05% nátrium-metabiszulfid, 0,1% oldható keményítő, 2,3% pepton, 0,0002% - (RCM) végeztük.

Talajból kitenyésztett baktériumok csoportosítása

A baktériumok telep morfológiai jellemzőinek elkülönítésénél az alábbi fő tulajdonságokat vettük figyelembe: a telep formája, színe, felszíne, magassága és körvonala. Az elkülönítéshez feljegyeztünk továbbá olyan tulajdonságokat is, mint az erezett, és telepátmérő. Az azonos morfológiájú telepcsoportokból random módon kiválasztásra került négy-négy telep, amelyből tiszta tenyészeteket- majd azokból a vizsgálatokhoz preparátumot készítettünk. Későbbi felhasználás céljából a tiszta tenyészeteket hűtve tároltuk. A sejt morfológia meghatározását egyszerű, rögzített festéssel-, míg a sejt fal szerkezetét Gram-festés segítségével határoztuk meg. Az izolátumok energiatermelő folyamatának meghatározását, az elektrontranszport lánc vizsgálatával végeztük, kataláz (MSZ-08-1721-4:1986) és oxidáz (TARRAND and GRÖSCHEL, 1982) tesztek segítségével.

Bioszén hatása a növényi biomassza mennyiségére

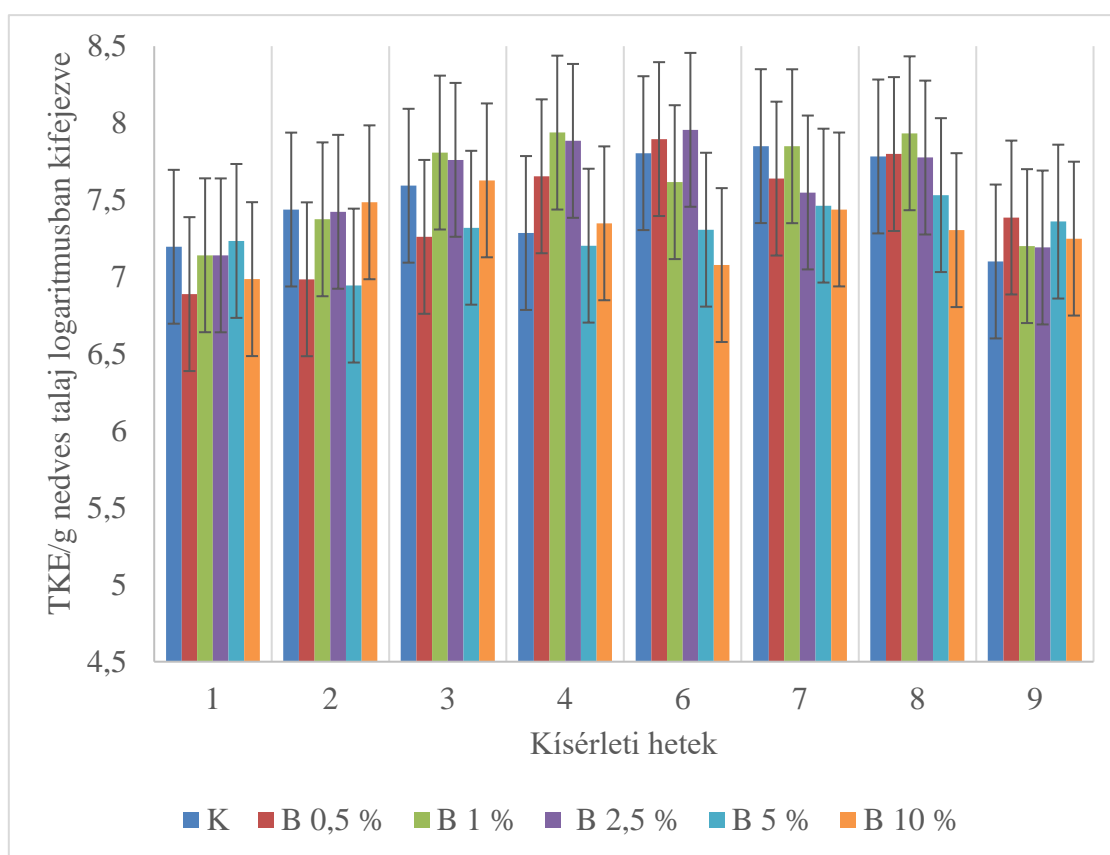
A kísérlet bontásakor (kilencedik hét), tömegméréssel meghatároztuk a száraz növényi biomassza mennyiségét (hajtás+gyökér) különbségeit az eltérő bioszén talaj koncentrációban, valamint meghatároztuk a gyökéren előforduló, kezelésenkénti átlagos gümőszámot is.

Adatok feldolgozása

Az eredmények kiértékelését egyutas varianciaanalízissel (ANOVA) végeztük, 95%-os szignifikancia szinten. A csoportok elkülönítését az alacsony elemszám miatt (kezelésenként négy párhuzamos), egy nem paraméteres próbával Games-Howell Post-hoc teszttel kivitelezte. Az egymástól szignifikánsan különböző csoportokat „a-b-c” betűkkel, az ábrákon jelöltük.

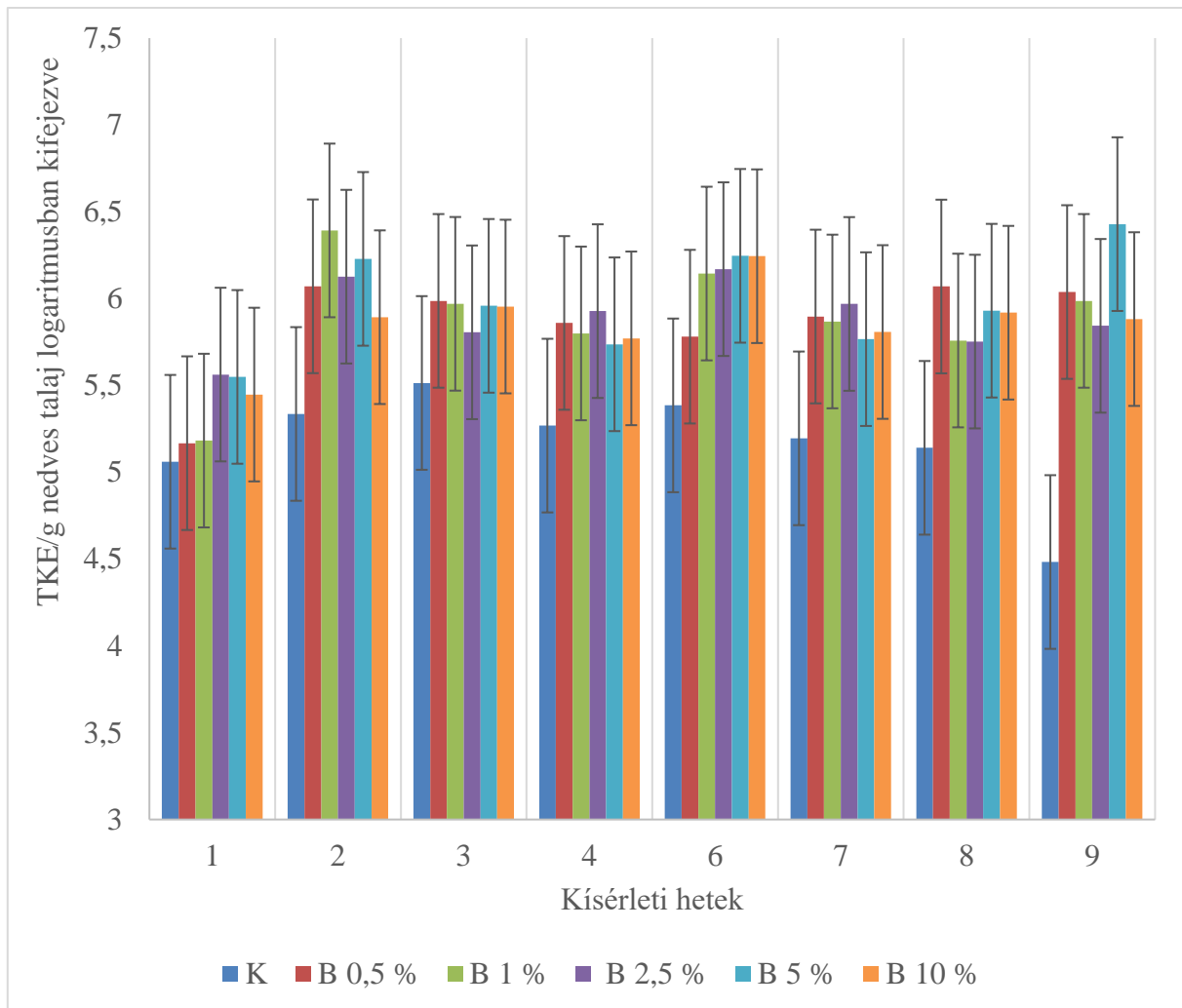
Eredmények

A vizsgált jellemzők alapján elkülönített izolátumok száma összesen 197 db, amelyből 119 db (60,4%) telep aerob, 78 db (39,6%) telepet pedig anaerob tenyésztéssel izoláltunk. A vizsgálati időszak kitenyészhető aerob- és anaerob élősejtszám változásai az 1. és a 2. ábrán láthatóak.



1. ábra: Aerob élősejtszám változása a kilenc hetes kísérleti időszakban, növekvő bioszén dózisokon, zöldborsó növény kísérletben. ($n = 4/\text{kezelés}$, $p < 0,05$)
Figure 1. Aerobic viable cell count changes over the nine-week experimental period at increasing doses of biochar in a green pea plant experiment.

Nem található szignifikáns különbség az aerob környezetben kitenyészhető mikrobaszám mennyiségében, sem a mintavételi időpontokban a kezelések között, sem pedig egy adott kezelés időbeli dinamikájában. A különböző bioszén kezelések tehát nem befolyásolták a kitenyészhető aerob mikroorganizmusok mennyiségét a talajban.

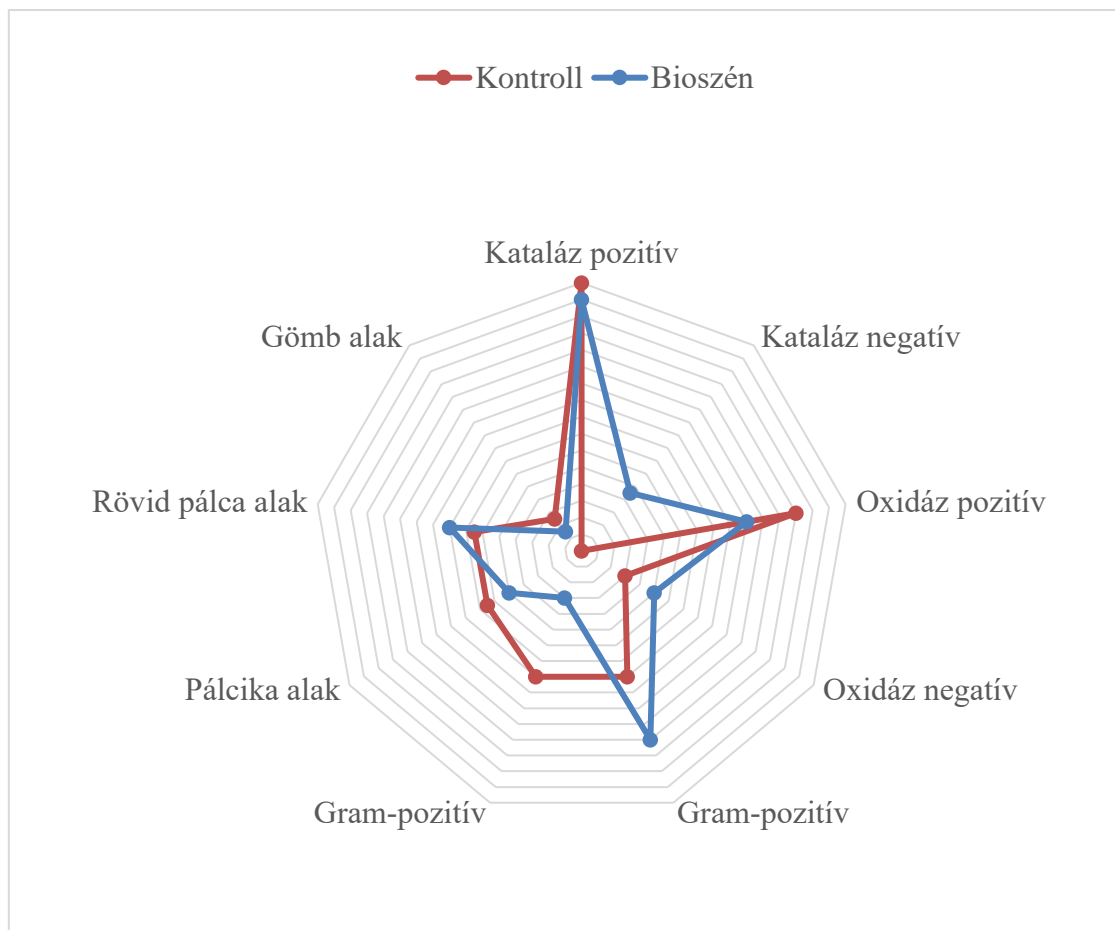


2. ábra: Anerob élősejtszám változása a kilenc hetes kísérleti időszakban, növekvő bioszén dózisokon, zöldborsó kísérletben. ($n = 4/$ kezelés, $p < 0,05$)

Figure 2. Changes in anaerobic viable cell counts over the nine-week experimental period at increasing doses of biochar in a green pea experiment.

Az anaerob környezetben kitenyészthető mikroorganizmusok száma, hasonlóan az egyes ábrához itt sem mutatott szignifikáns különbséget a kísérleti időszak első nyolc hetében. A kilencedik héten azonban a kontrollnál szignifikánsan magasabb kitenyészthető élősejtszám eredményeket kaptunk az összes bioszén dózis valamint a kezeletlen kontroll között. A különböző bioszén dózisok egymástól szignifikánsan nem különböztek.

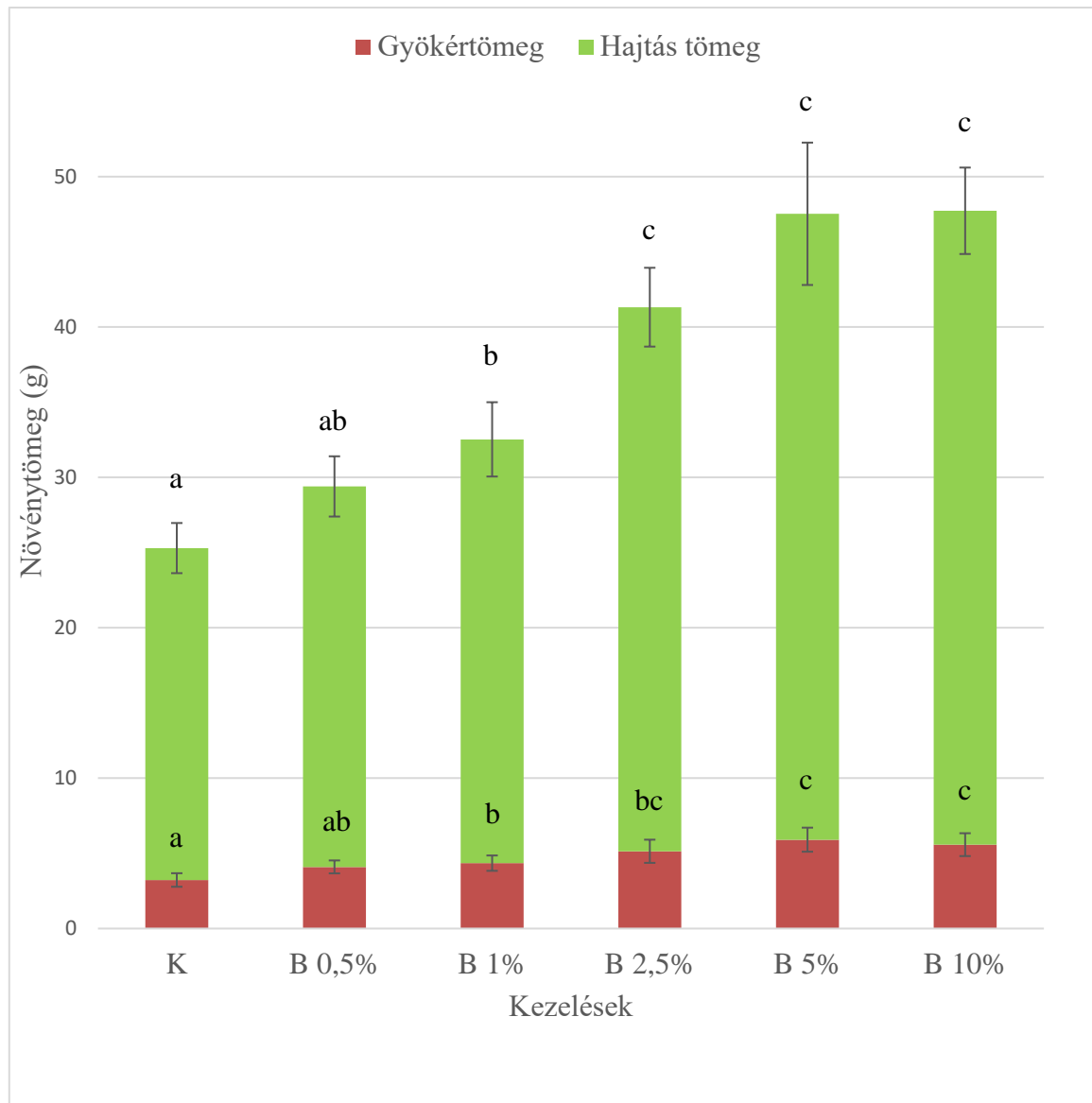
A kísérlet kilencedik hetében, a morfológiai bélyegek alapján aerob környezetben 25 db, anaerob környezetben pedig 7 db domináns mikroba izolátumot sikerült elkülönítenünk, a kontroll mintákból. A bioszén kezelések esetében ez a szám aerob környezetben 16 db, míg anaerob környezetben 14 db izolátum elkülönítésére volt lehetőség. Meg kell jegyezni, hogy a különböző bioszén dózisok esetében a diverzitás érdemben nem változott. A talajból kitenyésztett baktérium izolátumok mennyisége változott a bioszén eltérő dózisain. A morfológia alapján elkülönített izolátumok biokémiai tulajdonságai a 3. ábrán láthatók.



3. ábra: Kitenyészthető mikroorganizmusok morfológiai és biokémiai tulajdonságainak alakulása a kísérleti időszak végén, zöldborsó kísérletben.
Figure 3. Evolution of the morphological and biochemical properties of cultivated microorganisms at the end of the experimental period, in the green pea experiment.

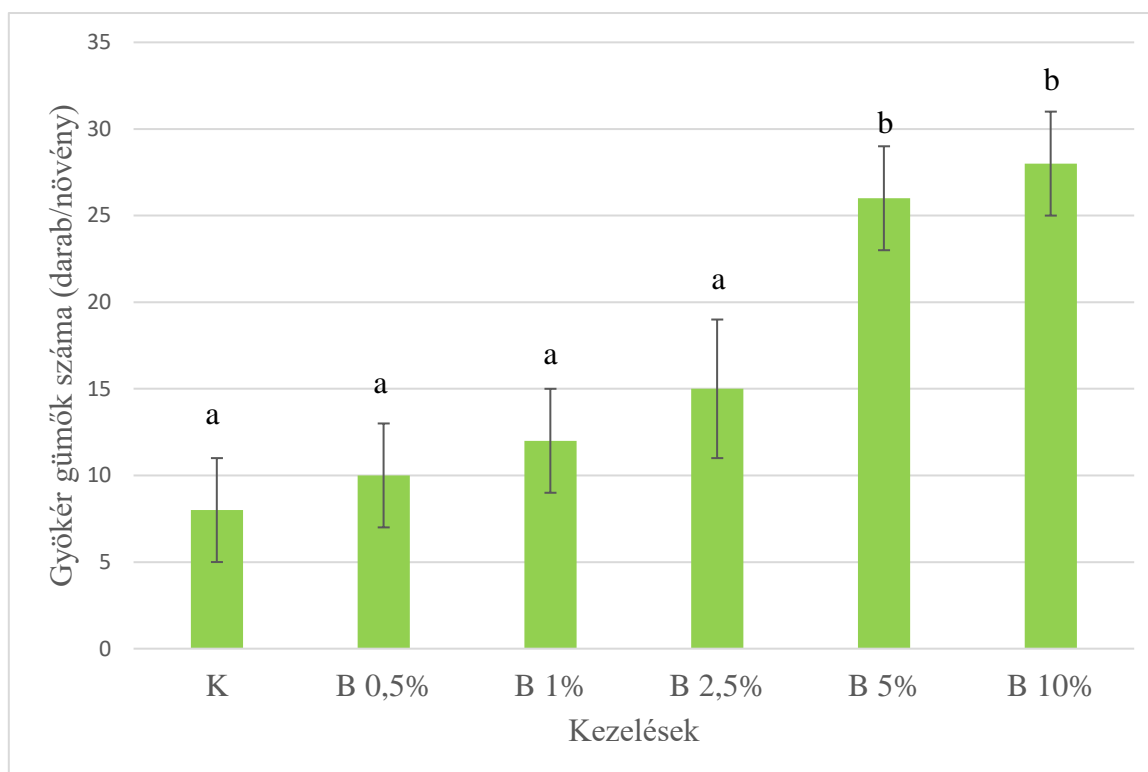
Az izolátumok morfológiai és biokémiai tulajdonságainak eredményei rámutatnak arra, hogy a bioszén kezelés hatására a talajbaktériumok aránya eltolódik kataláz pozitív-, valamint gram-pozív mikrobák irányba. Az eredmény összefügg az anaerob környezetben kitenyészthető baktériumok szignifikánsan magasabb számával a bioszén kezeléseknél. Mivel a kataláz olyan enzim, amelyet egyes mikroorganizmusok a légzési folyamatok során, az oxigénből képződő toxikus hidrogén-peroxidot lebontására állítanak elő, így a megléte, az aerob légzést folytató mikrobák számára fontos (GÓTH et al., 2004). A reakció révén a hidrogén-peroxid vízre és oxigénre bomlik, így megszűnik baktericid hatása. Vagyis a kísérlet kilencedik hetében az anaerob mikrobáknak nemcsak a mennyisége, de a diverzitása is növekedett.

A baktériumok membránfolyékonyságának modulátorai a Gram típustól függően eltérőek. A Gram-negatív baktériumok főként a telítetlen zsírsav és a telített zsírsav arányát változtatják meg, míg a Gram-pozitív baktériumok szabályozzák az elágazó láncú zsírsavak képződésének mennyiségét vagy zsírsavláncaik hosszát, hogy szabályozzák a membrán fázist a negatív környezeti hatásokra válaszul (CIMERMANOVA et al., 2021). A Gram-pozitív és kataláz negatív baktérium izolátumok megnövekedett száma az anaerob környezetben, utalhat a Clostridium nemzetség fajainak nagyobb arányára a bioszén kezelt talajban, amelynek egyes fajtái toxintermelésük révén komoly egészségügyi kockázatot (botulizmus, tetanusz, hasmenés) hordozhatnak (PERMPOONPATTANA et al., 2011).



4. ábra: Bioszén talajkezelés hatása a zöldborsó biomassza alakulására tenyészedény kísérlet kilencedik hetében. ($n = 4/\text{kezelés}$, $p < 0,05$)
Figure 4. Effect of biochar soil treatment on the biomass development of green peas in the ninth week of a pot experiment ($n = 4/\text{kezelés}$, $p < 0,05$).

A kilenc hetes tenyészedény kísérlet végére (4. ábra) a kontrolltól szignifikánsan magasabb gyökér- és hajtás tömeget mértünk a bioszén kezelésekben. Az egyes bioszén dózisok között is szignifikáns különbséget állapítottunk meg. Az eredmény rámutat a zöldborsó termesztés szempontjából optimális bioszén mennyiségre a vizsgált Arenosol-ban. A gyökér- és hajtásnövekedés szempontjából ez a koncentráció 2,5-5 m/m% között határozható meg, ugyanakkor a bioszén „túladagolás” (10 m/m%) nem volt negatív hatással a biomassza termelésre.



5. ábra: Növény szimbiota gyökérgümők számának alakulása bioszén talajkezelés hatására a tenyészedény kísérlet kilencedik hetében. ($n = 4/\text{kezelés}$, $p < 0,05$)
Figure 5. Changes in the number of plant symbiont root nodules in response to biochar soil treatment in the ninth week of the culture pot experiment ($n = 4/\text{kezelés}$, $p < 0,05$).

A kísérleti időszak kilencedik hetére, a növényi gyökereken kialakult gümők mennyiségének a megállapításakor (5. ábra), a kontrolltól szignifikánsan magasabb átlagos gümőszám került megállapításra az 5- és 10 m/m%-os bioszén dózisokon. A hajtás és gyökértömeg eredményektől eltérően, a 2,5 m/m%-os bioszén dózis átlagos gümőszáma szignifikánsan nem különbözött a kezeletlen kontroll állomány gyökérzetén előforduló gümők mennyiségétől.

Következtetések

A mikrobák tenyésztésén alapuló vizsgálatok csak korlátozottan járultak hozzá a bioszén hatására bekövetkező talaj-mikrobiom változás lekövetéséhez. Az anaerob sejtszám eredmények kilencedik hetében kimutatható szignifikáns különbségek ellenére, nem állapítható meg időbeni tendencia sem a kontroll, sem pedig az eltérő dózisú bioszénrel kezelt talajok között. Az eredmény rámutat arra, hogy a kezelésként beállított négy párhuzamos tenyészedény nem feltétlenül elegendő a mikrobiomban bekövetkező változások monitorzására, valamint a tenyésztéses eljárás pontossága (egy nagyságrend szórás) nem elégséges a mikrobiológiai tendenciák nyomonkövetésére. Az izolátumok biokémiai vizsgálata gyors tesztekkel, azonban alkalmas lehet, az esetleges negatív folyamatok kimutatására (Clostridium nemzetség arányának növekedése), amelyek alátámasztása molekuláris biológiai (DNS szekvenálás) vagy kémiai analitikai (Foszfolipid-zsír-sav-, fehérjemintázat meghatározás) módszerekkel mindenképpen szükség van.

Eredményeink alapján, bioszén dózis optimum állapítható meg a kísérletben használt Arenosol talajban, amely a zöldborsó biomassza és a pillangós növényeken előforduló gyökérgümők mennyisége szempontjából nem volt teljes átfedében. Megállapítható, hogy a bioszén serkenti a zöldborsó gümőképzését, ugyanakkor a bioszén hatására megnőtt gümőszám nem minden esetben eredményezett arányosan magasabb gyökér és hajtástömeget (lásd 10 m/m%-os dózis). Az eltérés abból eredhet, hogy a növény- és mikrobák eltérő környezeti érzékenységgel rendelkeznek, de ok lehet az is, hogy a gümőképzés nem a növény számára legkedvezőbb környezeti feltételek esetén megy végbe. A folyamat feltárására célszerű lenne a jövőben a 2,5-10 m/m% közötti bioszén dózisokkal, nagyobb elemszámban megismételni a kísérletet.

Melléklet:



1. kép: Növényminták feldolgozása a kísérlet bontásakor. A képen különböző talaj kezeléseken; kontroll, 5- és 10 m/m%-os bioszén fejlődött zöldborsó (*Pisum sativum* L.) növények láthatók.

Hivatkozott források

CIMERMANOVA, M. – PRISTAS, P. – PIKNOVA, M. (2021): Biodiversity of Actinomycetes from heavy metal contaminated technosols. *Microorganisms*, 9, 1635. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081635>

EAGLESHAM, A. R., ELLIS, J. M., EVANS, W. R., FLEISCHMAN, D. E., HUNGRIA, M., & HARDY, R. W. (1990). The first photosynthetic N₂-fixing Rhizobium: characteristics. In *Nitrogen fixation* Springer, Boston, MA., 805–811. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6432-0_69

FEKETE I. – BERKI I. – LAJTHA K. – TRUMBORE S. – FRANCIOSO O. – GIOACCHINI P. – MONTECCHIO D. – VÁRBÍRÓ G. – BÉNI Á. – MAKÁDI M. – DEMETER I. – MADARÁSZ B. – JUHOS K. – KOTROCZÓ ZS. (2021): How will a drier climate change carbon sequestration in soils of the deciduous forests of Central Europe? *Biogeochemistry* 152: 13–32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00728-w>

- GARCÍA-RUIZ, J.M. (2010): The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81, 1–11 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>
- GÓTH, L. – RASS, P. – PÁY, A. (2004): Catalase enzyme mutations and their association with diseases. *Molecular Diagnosis*, 8, 141–149. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03260057>
- GRABER, E. R. – FRENKEL, O. – JAISWAL, A. K. – ELAD, Y. (2014): How may biochar influence severity of diseases caused by soilborne pathogens?. *Carbon Management*, 5, 169–183. DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2014.913360>
- GUL, S. – WHALEN, J. K. – THOMAS, B. W. – SACHDEVA, V. – DENG, H. (2015): Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- HADIYA, V. – POPAT, K. – VYAS, S. – VARJANI, S. – VITHANAGE, M. – GUPTA, V. K. – PATEL, Z. (2022): Biochar production with amelioration of Microwave-assisted pyrolysis: Current scenario, drawbacks and perspectives. *Bioresource Technology*, 127303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127303>
- HAMORY, J. – KLEEMANS, M. – LI, N. Y. – MIGUEL, E. (2021): Reevaluating agricultural productivity gaps with longitudinal microdata. *Journal of the European Economic Association*, 19, 1522–1555. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeea/jvaa043>
- HARDY, B. – SLEUTEL, S. – DUFEY, J. E. – CORNELIS, J. T. (2019): The long-term effect of biochar on soil microbial abundance, activity and community structure is overwritten by land management. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 110. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00110>
- HALÁSZ J. – KOTROCZÓ ZS. – SZABÓ P. – KOCSIS T. (2022): Biomonitoring and Assessment of Dumpsites Soil Using Phospholipid Fatty Acid Analysis (PLFA) Method - Evaluation of Possibilities and Limitations. *Chemosensors* 10: 409. DOI: <https://doi.org/10.3390/chemosensors10100409>
- JAYAWARDENA, R. S. – PURAHONG, W. – ZHANG, W. – WUBET, T. – LI, X. – LIU, M. – YAN, J. (2018): Biodiversity of fungi on *Vitis vinifera* L. revealed by traditional and high-resolution culture-independent approaches. *Fungal Diversity*, 90, 1–84. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-018-0398-4>
- JEFFRY, L. – ONG, M. Y. – NOMANBHAY, S. – MOFIJUR, M. – MUBASHIR, M. – SHOW, P. L. (2021): Greenhouse gases utilization: A review. *Fuel*, 301, 121017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121017>
- KOCSIS, T. – WASS-MATICS, H. – KOTROCZÓ, ZS. – BIRÓ, B. (2015): A bioszén kedvező hatása a talaj pszikrofil-és mezofil csíraszámára. Futó, Zoltán (szerk.) *A hulladékgazdálkodás legújabb fejlesztési lehetőségei*. Szarvas, Magyarország, SZIE Gazdasági, Agrár-és Egészségtudományi Kar. 126 p. 63–69.
- KOCSIS, T. – PABAR, S. A. – FERSCHL, B. – KOTROCZÓ, Z. – MOHÁCSI-FARKAS, C. – BIRÓ, B. (2020): Biotic and abiotic risks of soil biochar treatment for food safety and human health. *Acta Univ. Sapientiae Aliment*, 13, 69–84. DOI: <https://doi.org/10.2478/ausal-2020-0004>
- KOTROCZÓ, ZS., I. – FEKETE, J. A. – TÓTH, B. – TÓTHMÉRÉSZ, S. – BALÁZSY (2008): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. *Cereal Research Communications Volume 36*: 663–666. <http://www.jstor.org/stable/90002791>

KOTROCZÓ ZS. – FEKETE I. (2020): Significance of soil respiration from biological activity in the degradation processes of different types of organic matter. *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy* 1: 171–179. DOI: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.2.10>

KOVÁCS-BOKOR, É. – DOMOKOS, E. – BIRÓ, B. (2021): Toxic metal phytoextraction potential and health-risk parameters of some cultivated plants when grown in metal-contaminated river sediment of Danube, near an industrial town. *Environmental Geochemistry and Health*, 43, 2317–2330. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00880-8>

LEHMANN, J. – COWIE, A. – MASIELLO, C. A. – KAMMANN, C. – WOOLF, D. – AMONETTE, J. E. – WHITMAN, T. (2021): Biochar in climate change mitigation. *Nature Geoscience*, 14, 883–892. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00852-8>

LENG, L. – XU, X. – WEI, L. – FAN, L. – HUANG, H. – LI, J. – ZHOU, W. (2019): Biochar stability assessment by incubation and modelling: Methods, drawbacks and recommendations. *Science of the Total Environment*, 664, 11–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.298>

MARTOS, S. – MATTANA, S. – RIBAS, A. – ALBANELL, E. – DOMENE, X. (2020): Biochar application as a win-win strategy to mitigate soil nitrate pollution without compromising crop yields: a case study in a Mediterranean calcareous soil. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 220–233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02400-9>

MSZ-08-1721-4:1986, Szennyvízzel, szennyvíziszappal kezelt mezőgazdaságilag hasznosított területek talajvizsgálata. Talajbiológiai aktivitás vizsgálat kataláz enzimaktivitási módszerrel

MSZ-EN-ISO-4833-1:2014, Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a mikroorganizmusok számlálására. Telepszámlálás 30 °C-on lemezöntéses módszerrel (ISO 4833-1:2013)

PAPP, O. – KOCSIS, T. – BIRÓ, B. – JUNG, T. – GANSZKY, D. – ABOD, É. – DREXLER, D. (2021): Co-inoculation of organic potato with fungi and bacteria at high disease severity of *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces* spp. increases beneficial effects. *Microorganisms*, 9, 2028. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102028>

PERMPOONPATTANA, P. – TOLLS, E. H. – NADEM, R. – TAN, S. – BRISSON, A. – CUTTING, S. M. (2011): Surface layers of *Clostridium difficile* endospores. *Journal of bacteriology*, 193, 6461–6470. DOI: <https://doi.org/10.1128/JB.05182-11>

SHA, J. – SUN, Y. – YU, H. – YANG, Z. – CHU, H. – WANG, Y. – XU, S. (2022): Comparison of nano-TiO₂ immobilization approaches onto biochar: Superiorities of click chemistry strategy and self-acceleration of pollutant degradation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10, 107544. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107544>

TARRAND, J. J. – GRÖSCHEL, D. H. (1982): Rapid, modified oxidase test for oxidase-variable bacterial isolates. *Journal of Clinical Microbiology*, 16, 772–774. DOI: <https://doi.org/10.1128/jcm.16.4.772-774.1982>

ZHOU, Z. – GAO, T. – VAN ZWIETEN, L. – ZHU, Q. – YAN, T. – XUE, J. – WU, Y. (2019): Soil microbial community structure shifts induced by biochar and biochar-based fertilizer amendment to Karst calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, 83, 398–408. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.08.0297>

ZHU, X. – LI, Y. – WANG, X. (2019): Machine learning prediction of biochar yield and carbon contents in biochar based on biomass characteristics and pyrolysis conditions. *Bioresource technology*, 288, 121527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121527>

Szerzők

Kókai Anett

MSc hallgató/MSc Student
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
k.anett928@gmail.com

Ali Haider

PhD hallgató/PhD Student
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
Doctoral School of Food Sciences
ali-haider90@hotmail.com

Saadi Haythem

PhD hallgató/PhD Student
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
Doctoral School of Horticultural Sciences
saadi.haythem@phd.uni-mate.hu

Biró Borbála, DSc

Professor emerita/Professor emerita
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Intézet
biro.borbala@gmail.com

Ringer Mariann

levelező szerző
PhD hallgató/PhD student
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földtudományi Doktori Iskola
ringer.marianna@csfk.org

Kocsis Tamás, PhD

Egyetemi adjunktus/Assistant professor
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
kocsis.tamas.jozsef@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

