



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**Talajból izolált oltóanyagok hatása ökológiai gazdálkodásban különböző
talajerőgazdálkodási technológiákkal**

Pabar Sándor Attila

Budapest

2024

A doktori iskola

Megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

Vezetője: Zámboriné Dr. Németh Éva, DSc.
tanszékvezető, egyetemi tanár
MATE
Kertészettudományi Intézet, Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Témavezetők: Dr. Biró Borbála, DSc.
egyetemi tanár, prof. emerita
MATE
Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék

Dr. Kotroczó Zsolt, PhD
tanszékvezető helyettes, egyetemi docens,
MATE
Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
.....
A témavezetők jóváhagyása

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A talaj termékenységének és egészségének megőrzése elengedhetetlen a fenntartható mezőgazdaság és a globális élelmiszerbiztonság szempontjából. A túlzott műtrágya- és vegyszerhasználat, valamint a nem megfelelő talajművelés a talaj degradációjához és termékenységének csökkenéséhez vezet, amely negatívan befolyásolja a környezetet, így a vízkészletek és a biodiverzitás állapotát is (Kertész, 2019).

A vegyszerhasználat csökkentése és a talaj degradáció megelőzésére két fő mozgalom alakult ki: az ökológiai termesztés, ami csak engedélyezett természetes anyagokat használ (Tirado, 2015), és a talajművelés minimalizálására törekvő regeneratív mezőgazdaság (Brown, 2018). Ezek a gyakorlatok a kémiai alapú megoldások alternatíváiként szolgálnak, elősegítve a talaj természetes tápanyag-körforgásának fenntartását, a biológiai sokféleség növelését, és a környezetbarát technikák alkalmazását. Mindkét megközelítésben kulcsfontosságú a gyomkezelés, ami kisebb léptékben mulcsozással, nagyobb méretekben pedig takarónövények és állattartás integrálásával valósul meg (Meredith et al., 2018; Koltai, 2010).

Magyarország gazdag ásványi kincsekben, amelyeket korábban államilag kezelt talaj-meliorációs gyakorlatokban használtak, ezzel javítva a talaj fizikai-kémiai tulajdonságait, mint a szerkezetesség és savanyúság, támogatva az ökológiai gazdálkodás céljait és csökkentve a talajművelés káros hatásait (Várallyay, 2001). A mikrobiális oltóanyagok használata is engedélyezett, globálisan elterjedt gyakorlat, hatékonyságukkal kapcsolatos bizonytalanságok ellenére. Az ipari oltóanyagok alkalmazása ígéretes lehet a talajbiológiai aktivitás és a talaj-növényi egészség növelésére.

Ezen elvek nemcsak a mezőgazdaság fenntarthatóságát erősítik, hanem az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez is hozzájárulnak. A talaj termékenységének és egészségének fenntartása érdekében létfontosságú a fenntartható gyakorlatok innovatív támogatása, figyelembe véve a természeti erőforrások megőrzését és a globális környezeti kihívások kezelését.

1. Hipotézisünk szerint az adott talajból izolált, előzetesen tesztelt mikrobiális törzsekre hatékonyabb működés jellemző, ellentétben a kereskedelmi oltóanyagokkal, amelyeket általában teljesen más típusú talajokon tesztelnek, fejlesztenek.

2. Azt feltételeztük, hogy a kísérleteinkbe bevont mikroorganizmusok nemcsak ismert tulajdonságokkal rendelkeznek, hanem adaptáció révén új, eddig kevésbé kutatott jellemzőkkel is rendelkezhetnek, mint például a káliumoldás. Ez a dinamikus alkalmazkodóképesség lehetővé teszi számukra, hogy optimálisan reagáljanak a környezeti változásokra és növényi igényekre, elősegítve ezzel a növények tápanyag ellátását, annak felvételét és stressztoleranciáját.

3. Az alginit, egy gyakran használt hazai meliorációs ásvány, amely kedvezően befolyásolhatja a talaj biológiai tulajdonságait, ezáltal meghatározva az oltóanyagok hatékonyságát. Ennek ellenére az alkalmazása korlátozott lehet meszes, enyhén lúgos és jó tápanyag ellátottságú talajok esetén.

4. Feltételeztük, hogy mivel a különböző szerves anyag és talajszén mérési módszerek eltérő vegyületcsoportokat mérnek, így a kezelések hatására mutatott változások mértéke is különböző lesz. Ebben a kontextusban vizsgáltuk a talaj labilis (aktív) szervesanyag-tartalmát mérő módszereket, mint a POXC, DOC és az NaOH kivonási módszert.

5. Különböző talajkezelések javíthatják a talaj szervesanyag-tartalmát, de a változás mértéke a vizsgált szerves anyag függvényében eltérő lehet. A labilis frakciók mérésekor rövid távon kimutathatóbbak a változások, de hosszú távon ezek kevésbé megbízhatóak, mivel a szezonális és pillanatnyi hatások gyorsan telítődhetnek. Ezért különböző módszerek alkalmazása javasolt a változások hosszabb távú nyomon követésére. Bár kutatásunk időkerete korlátozott, irányt szeretnénk mutatni a hosszabb távú vizsgálati lehetőségek felé is.

Ezekkel a kutatásokkal szeretnénk bővíteni a tudást a különböző talajjavító módszerek hatékonyságáról, az oltóanyagok és ásványi talajjavító anyagok együttes alkalmazásának hatásairól, különösen tekintettel az ökológiai gazdálkodásra. Célunk, hogy hozzájáruljunk a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok megfelelőbb kialakításához és a talaj termékenységének növeléséhez és hosszú távú megőrzéséhez. Vizsgálataink kiemelten foglalkoznak a talaj szervesanyag-tartalom változásainak nyomon követésével. Eredményeink hozzájárulhatnak a mezőgazdaság kémiai alapú gyakorlatainak megváltoztatásához, ezáltal védve a környezetet, csökkentve annak terhelését és elősegítve a fenntartható élelmiszertermelést.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Kísérleti beállítások

A kutatás során lépcsőzetesen haladtunk, és fokozatosan növeltük a kísérleti léptéket. Ez az úgynevezett „felskálázás” magába foglalja, az alkalmazott kezeléseket és a vizsgálati módszereket is. A mikroorganizmusok izolációját és tesztelését Petri-csészében, sejttálcában, majd tenyészedényben, a Magyar Agrártudományi Egyetem (MATE), Agrárkörnyezettani Tanszékén (AKT), valamint annak a fényszobájában végeztük. A szabadföldi kísérletben több éven keresztül vizsgáltuk a mikrobiális oltóanyagok hatását, és ezek interakcióit egyéb talajmegújító kezelésekkel, a MATE (korábban SZIE) soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában.

2.1.1 PGP (Plant Growth Promoting) törzsek izolációja, szelekciója, azonosítása

Mikroorganizmusok izolálása, szelekciója szelektív táptalajokon történt. Az általunk, táptalajokon szelektált és izolált törzsek molekuláris azonosítását a Gödöllői BIOMI Kft. laboratóriumában végezték. Az azonosításhoz a baktériumok 16S rRNS-t kódoló génszakaszát használták fel.

2.1.2 PGP törzsek csíranövény tesztjei

A kiválasztott törzsek értékelése kisléptékű sejttálcás kísérletben, a növényekre és talaj-enzimaktivitására gyakorolt hatásuk alapján történt. A talajoltáshoz használt mikrobiális PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) törzsek és jelöléseik a következők voltak: A5: *Enterobacter ludwigii*; Bm: *Bacillus megaterium*; Bs: *Bacillus subtilis*; D1: *Kosakonia cowanii*; Pf: *Pseudomonas fluorescens* Hx1; Th: *Trichoderma harzianum* T-22. Tesztnövényként a fehér mustárt (*Sinapis alba* L.) és az angolperjét (*Lolium perenne* L.) alkalmaztuk.

Ebben a kísérletben az alábbi tulajdonságokat vizsgáltuk: a növényi hajtásokra vonatkoztatva a nedves- és száraz biomassa tömeget (g), a növekedési hosszt (mm), a mustár esetében a kicsírázott magvak számát is. Mértük továbbá a mustárnövények talajának a fluoreszcein-diacetát (FDA) aktivitását.

A mikrobiális inokulációk magszírázásra gyakorolt hatását a következőképpen számítottuk ki: az átlagos relatív válaszarányok (Response Ratio - RR), az alkalmazott törzsek és a kontroll eredményeinek összehasonlítása mutatják a százalékos változást (%).

2.1.3 Tenyészedény-teszt bazsalikkal, salátával *Bacillus megaterium* oltással

Tesztnövényként fejes salátát (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) és bazsalikomot (*Ocimum basilicum* L.) használtunk. A növényeket gyengén humuszos, meszes homoktalajon (Soroksár1) és humuszos, laza szerkezetű mezőszégi talajon (Martonvásár) neveltük. Az ásványi anyagok feltáródását 5 % (m/m) alginit hozzáadásával vizsgáltuk. A degradált talajmikrobiom szimulálására talajsterilizálást alkalmaztunk. A növényeket előnevelés után, a hasonló fejlettségi állapotúakat random módon ültettük a tenyészedényekbe. A *Bacillus megaterium* oltás a palántázást követően bazsalikom esetében 1 nappal, salátánál pedig 10 nappal történt. Növényenként 1ml $1,735 \times 10^6$ CFU/ml oltást alkalmaztunk.

Vizsgáltuk a talajok biológiai paramétereit; MPN módszerrel meghatároztuk a kitenyészthető aerob, spórás baktérium, valamint a mikroszkopikus gomba számot. Bazsalikomnál mértük a talajok DHA értékeit, salátánál pedig az FDA-t.

2.1.4 Tenyészedény-teszt hazai talajokkal, bab és kukorica tesztnövényvel

A felhasznált talajok semleges, enyhén lúgos pH-val rendelkeztek, viszont eltérő volt a kötöttségük és szervesanyag-tartalmuk. A felhasznált talajok fontosabb fizikai-kémiai tulajdonságait az 1. táblázatban mutatjuk be.

1. táblázat. A tenyészedény-kísérletben felhasznált talajok (T1-5) főbb fizikai-kémiai jellemzői.

Talajok és vizsgált tulajdonságok	T1	T2	T3	T4	T5
Mintavételi hely	Soroksár1	Soroksár2	Tófej	Hatvan	Szeghalom
WRB besorolás	Arenosol	Gleysol	Chernozem	Luvisol	Gleysol
Koordináták	47°23'33" 19°08'55"	47°24'02" 19°09'18"	46.65473 16.78882	47.65475 19.61545	47.12483 21.07916
Kötöttség (K _A)	26	43,4	49	54	57,5
Fizikai féleség	Homok	Agyagos vályog	Agyagos vályog	Agyag	Agyag
pH _(H2O)	7,49	7,42	7,44	7,50	7,61
pH _(KCl)	6,94	7,13	6,58	6,74	6,45
Vízoldható só m/m %	0,0317	0,0216	0,02677	0,0555	0,0665
Szerves anyag mennyiség (SOM %):	2,18	4,09	4,63	3,89	3,75

Tesztnövényként sárgahüvelyű borkorbabot (*Phaseolus vulgaris* var. 'Maxidor') alkalmaztunk, majd a bab helyére csemegekukorica (*Zea mays* var. *saccharata*) került. A mikrobiális oltás a magvetéssel, palántázással egyszerre történt. A használt törzsek a következők voltak: D1 - *Kosakoni cowanii*, Pf - *Pseudomonas fluorescens*, A5 - *Enterobacter ludwigii*, Bs - *Bacillus subtilis*, Th - *Trichoderma harzianum* T-22.

A Soroksár1 és a Szeghalom talaj esetén (mint a két legszélsőségesebb talaj fizikai-féleséggel jellemezhető talajok) Vázsonyi alginit hozzáadásával is elvégeztük a kísérleteket. Így összesen az öt talajra (valamint kettőt kombinálva alginittel [5 % m/m]), állítottuk be a kísérleteket.

2.1.5 Szabadföldi kísérletek oltótörzsek keverékével és ökológiai kezelésekkal

A kísérleteket a MATE Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság területén végeztük el. Az itt található enyhén humuszos, meszes homoktalaj nagy vízelvezető-képességű, gyenge vízgazdálkodású, és nagyon gyenge vízmegtartó képességgel rendelkezik. A talaj tulajdonságait a 1. táblázat Soroksár1-es oszlopa mutatja be. Ebben a kísérletben különös hangsúlyt fektettünk a talajok mikrobiális változásainak a vizsgálatára, valamint ezek mellett a különböző szervesanyag és szén mérésekre a talajban. A kísérletben a következő elrendezést

alkalmaztuk: *Vázsonyi algin* (40 t/ha); *Mulcs* (tritikálé szalma 10 cm-es rétegben, fogyás függvényében pótoltuk); *Takarónövény*: Déméter Biosystems Kft. takarónövény keverék. A kezeléseket a következő mikrobiális oltóanyagokkal kombináltuk: 2019-2020: saját magkeverék; 2021: Phy - kereskedelmi oltóanyag-készítmény: *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus circulans* és *Bacillus megaterium* összetétellel.

2.2 Felhasznált anyagok

2.2.1 Alkalmazott mikroorganizmusok

A kutatás során számos mikroorganizmussal dolgoztunk és használtuk fel őket a kísérletekhez a fent leírt kombinációkban. Ezek egyrésze már rendelkezésre állt a labor törzsgyűjteményében, másokat különböző, a kereskedelembe is hozzáférhető termékek tartalmaztak, továbbá voltak saját izolált törzseink a soroksári kísérleti területről. A főbb törzseket (kódnevekkel, származással, és az irodalomban megtalálható tulajdonságokkal), amikkel a kutatás során dolgoztunk a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A felhasznált mikroorganizmusok lehetséges és várható tulajdonságai. (Gy – Gyűjtemény, T – Termék, I – Izolált).

Kód és Fajnév	Forrás	PGPM tulajdonságok
Baktériumok		
Bm - <i>Bacillus megaterium</i>	Gy, T	PSB, KSB, N kötés, <i>Fusarium</i> gomba antagonizmus, IAA-, sziderofór és extracelluláris poliszacharid termelés (EPS)
<i>Bacillus circulans</i>	T	Cellulóz bontás, PSB, IAA termelés. biokontroll
Bs - <i>Bacillus subtilis</i>	Gy	PSB, sziderofór termelés, antibiózis, IAA termelés
A3 - <i>Bacillus coreaensis</i>	I	xilán-hidrolizáló enzimaktivitás, sziderofór-, és EPS termelés
Ac - <i>Azotobacter chroococcum</i>	Gy, T	N kötés, <i>Fusarium</i> antagonista, PSB, biodagradáció
A5 - <i>Enterobacter ludwigii</i>	I	PSB, KSB, IAA-, EPS termelés, Antifungális hatás, alkán biodegradáció
D1 - <i>Kosakonia cowanii</i>	I	N kötés, PSB, IAA-, sziderofór termelés
C1 - <i>Lelliottia amnigena</i>	I	PSB, ACC-deamináz aktivitás, sziderofór és IAA termelés.
Pf - <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Gy	PSB, biokontroll, szideroforok, IAA termelése
<i>Pseudomonas putida</i>	T	PSB, biokontroll, szideroforok, IAA termelése
Mikroszkopikus gomba		
Th - <i>Trichoderma harzianum</i>	T	Antifungális hatás, cellulóz bontás

2.2.2 Talajok biológiai aktivitása: enzim-vizsgálatok és cellulóz-teszt

A *fluorescein-diacetát (FDA) hidrolízis* módszer egy gyakran alkalmazott technika a talaj enzimatis aktivitásának mérésére. Adam és Duncan (2001) és Villányi et al., 2006-os munkája alapján alkalmaztuk a módszert. A módszer segítségével vizsgálható, hogy a mikrobiális közösség milyen mértékben képes organikus anyagokat lebontani, ami fontos információt nyújt a talaj termékenységéről és biológiai aktivitásáról. Ez több, nem-specifikus extracelluláris enzimaktivitását képes kimutatni, így képes egy általános információval szolgálni a talaj mikrobiális közösségek aktivitásáról, valamint közvetve megállapítható az összes baktérium és fonalas gomba biomasszája a talajban.

A *dehidrogenáz enzimaktivitás (DHA)* mérésére szolgáló módszer az egyik leggyakrabban használt indikátora a mikrobiális aktivitásnak a talajban. A dehidrogenázok a mikrobák sejtjeiben találhatók, és szerves anyagok oxidációjában vesznek részt, azaz az elektrontranszfer folyamatokban közvetlen szerepet játszanak. Ezek az enzimek csak életképes sejtekben aktívak, így aktivitásuk jól tükrözi a talaj mikrobiális életképességét és egészségét (Veres et al., 2013.).

Cellulózfogyással is vizsgáltuk a tenyészedény-kísérletben a talajok biológiai aktivitását. A módszer lényege röviden, hogy 1 g pamut vattát helyeztünk el a tenyészedények talajában

egyenlő mélységben. A vattát nem sterilizáltuk, vagy készítettük elő bármilyen módon. Majd a kísérlet végén ezek maradékát visszamértük (Unger, 1960).

2.2.3 Mikroorganizmusok legvalószínűbb számának (MPN) a meghatározása: Aerob-, Spórás baktériumok, Mikroszkopikus gombák

A talajok legvalószínűbb élő mikroba számát MPN (Most Probable Number) módszer segítségével vizsgáltuk, majd az ún. Hoskins-féle táblázatból (Cochran 1950) határoztuk meg a legvalószínűbb sejtszámot. Így vizsgáltuk az összes kitenyészthető mikroorganizmus, a mikroszkopikus gombák és a beoltott spóráképzők csíraszámát.

2.2.4 Vizsgált növényi paraméterek

A kísérletek során vizsgáltuk a különböző növénybiológiai paramétereket. A sejttálcás és tenyészedényes kísérletekben mértük a hajtás hosszát, nedves és száraz tömegét, valamint a gyökér nedves és száraz biomasszáját.

A szabadföldi kísérlet esetén a termésértékeket rögzítettük. *Normalizált Termésértékek* kiszámítása úgy történt, hogy az adott év átlagértékeivel osztottuk a mért értékeket. Ennek a folyamatnak az a célja, hogy biztosítsuk az összehasonlíthatóságot a parcella termésállományai között a különböző évek során, figyelembe véve, hogy minden évben különböző növényeket termesztettünk. Ennek eredményeként az „Év” tényezőt kizártuk ennek a változónak az elemzéséből.

2.2.5 A talaj szénformáinak mérései

A teljes szerves szén (TOC) tartalmát Kálium-dikromátos oxidáció után határoztuk meg, (Tyurin, 1951). Az Oldott Szerves Szén (*Dissolved Organic Carbon - DOC*) mennyiséget (az oldatok DOC koncentrációját) folyékony (liquid) üzemmódban Elementar Vario TOC cube analizátorral mértük. Vizsgáltuk a talajok *Labilis-C*, vagy másnéven *POXC* (*Permanganate Oxidizable Carbon*) tartalmát is Weil et al. (2003) módszere alapján. Mértük a minták *glomalin* (*Easily extractable glomalin-related soil proteins - EE-GRSP*) tartalmát Wright és Upadhyaya, (1998) módszere alapján. A humuszminőséget a *Hargitai-féle két oldószeres eljárással* (Hargitai, 1955), valamint a szélesebb körben ismert *E4/E6* módszerrel vizsgáltuk. Meghatároztuk a *mikrobiális biomassza szén* (*Microbial Biomass Carbon, MBC*) tartalmát is (Vance et al. 1987), amely talaj mikrobiális közösségében tárolt szervesszén tartalmának mennyiségét jelenti.

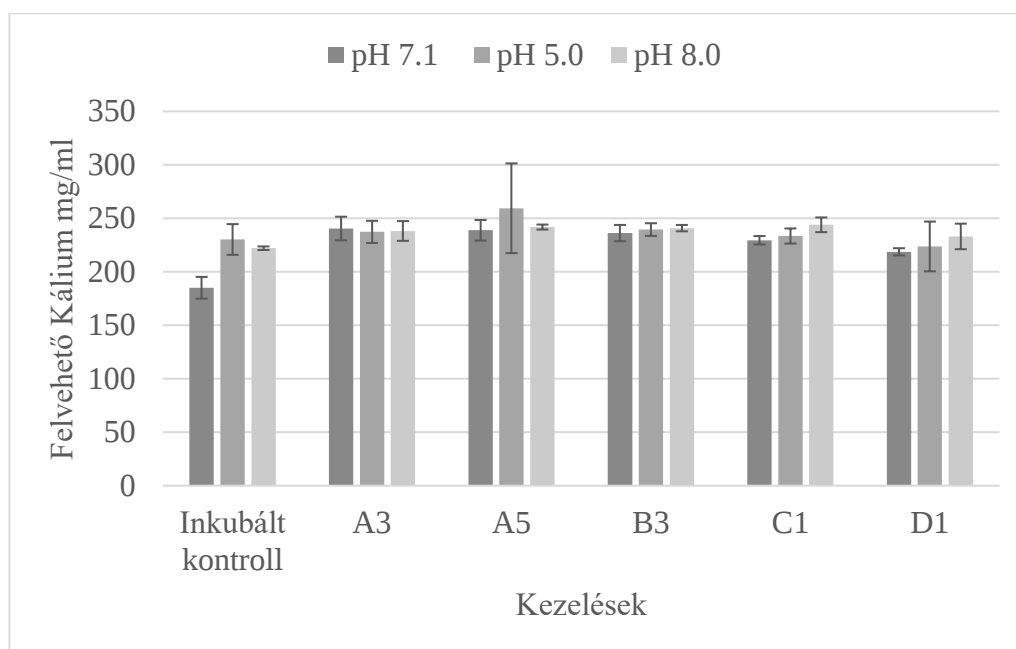
2.2.6 Alkalmazott statisztikai módszerek

Az eredmények feldolgozásához IBM SPSS 25, R 4.3.1., és Excel programcsomagot is használtam. Egy és többutas ANOVA-t, Tukey's post-hoc tesztet alkalmaztunk a faktorok közötti különbségek megállapítására. Ezen felül korrelációs vizsgálatokat is lefolytattunk a különböző vizsgált paraméterek összefüggéseinek a megállapításához. Az ANOVA-hoz normalitás vizsgálatot Kolmogorov-Smirnov tesztel, a szóráshomogenitást Levene-tesztel ellenőriztem. Ha a feltételek nem feleltek meg egyutas Welch-ANOVA-t alkalmaztam, Games-Howell's post-hoc tesztel, amivel nem parametrikusan vizsgálhattuk a faktorokat.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1 Az izolátumok hatásának igazolása

A fajokat, a táptalajon történő szelektálás után, folyékony Aleksandrow táplevesben neveltük (Etesami et al., 2017). Lángfotométerrel megmértük a káliumoldó kapacitásukat a minták talajából, különböző pH tartományokban (pH=5,0; 7,1 és 8,0). Főleg a semleges, azaz a 7.1-es pH-n volt jól kivehető a káliumoldó képességük (1. ábra).



1. ábra. Az izolált törzsek felvehető káliumoldó képességének a vizsgálata lángfotométerrel.

3.2 Izolált mikroorganizmusok azonosítása (genetikai elemzés)

Az előzetes tesztek alapján kiválasztottunk néhány mikroorganizmus izolátumot genetikai módon történő beazonosításra (identifikációra). Ezek eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. Az izolátumok genetikai vizsgálata alapján beazonosított fajok és azok %-os valószínűségeinek értékei.

Jelölés	Azonosított mikroba faj	hasonlósági %	Bázispár (bp)
A3	<i>Bacillus coreaensis</i>	98,52 %	1481
A5	<i>Enterobacter ludwigii</i>	99,72 %	1438
B3	<i>Enterobacter tabaci</i>	100,00 %	1079
C1	<i>Lelliottia amnigena</i>	99,44 %	1438
D1	<i>Kosakonia cowanii</i>	99,51 %	1441

Az izolált mikroorganizmusok közül az A5 és a D1 jelűeket választottuk ki további vizsgálatokra az előzetes laboratóriumi megfigyelésinket is figyelembe véve. A kiválasztást, a törzs-szelekciót segítették például a PSB (Phosphate solubilizing bacteria), a nitrogénkötő és az EPS (Extracelluláris poliszacharid) tulajdonságok is.

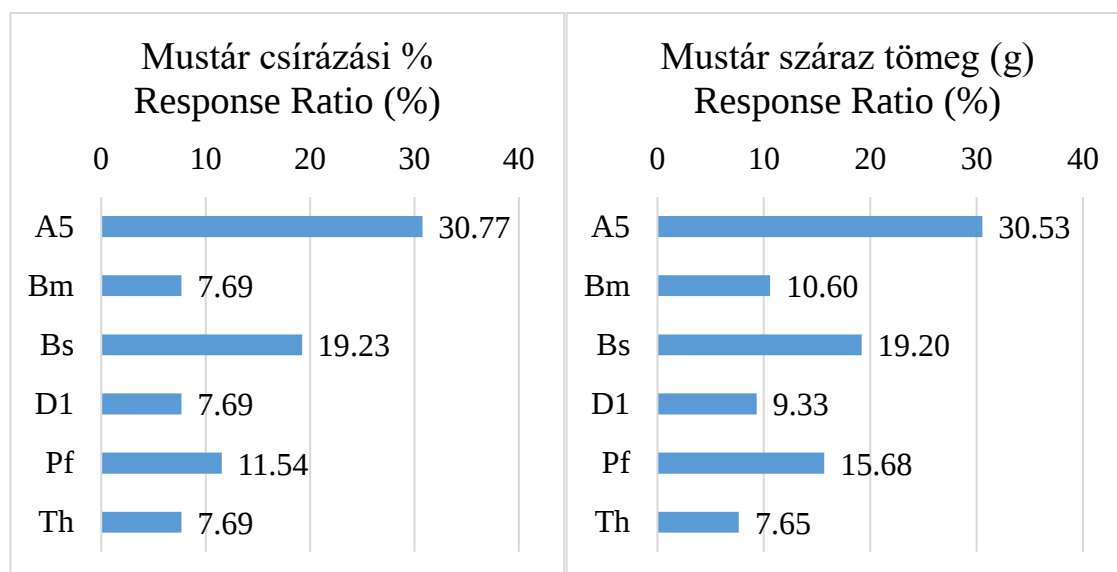
3.3 Az izolált és később alkalmazandó mikroorganizmusainak hatásának vizsgálata csíratesztekkel, fehér mustár (*Sinapis alba*) és angolperje (*Lolium perenne*) tesztnövényekkel

3.3.1 A csírázási százalék és a csíranövény növekedése

A PGPM törzsek vizsgálati és szelekciós kísérlete során magasabb növekedési paramétereket figyeltünk meg a mikrobiális törzsek hatására a kontrollhoz képest.

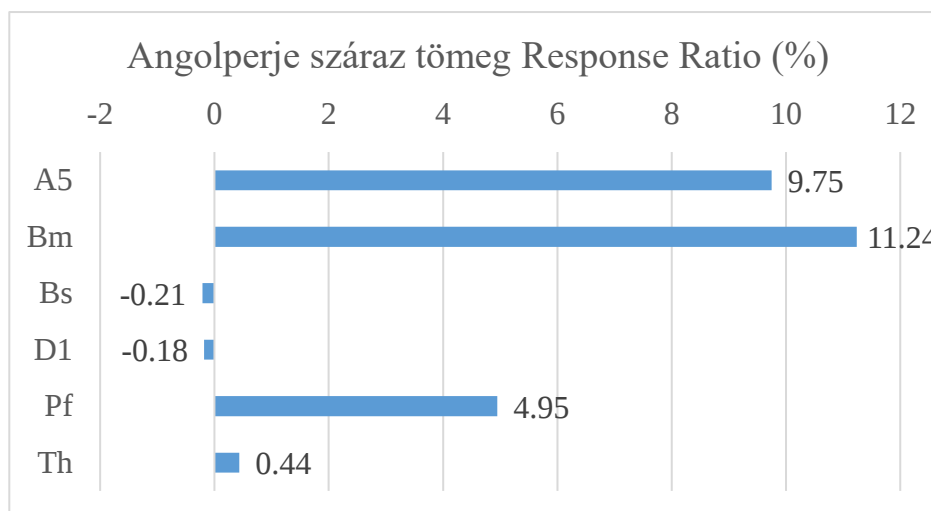
A mustár tesztnövényénél nem szignifikánsan, de magasabb értékeket kaptunk a kontrollhoz viszonyítva a növény-tulajdonságokra vonatkoztatva minden vizsgált törzs esetén. A legmagasabb értékkel (+30 % a csírázásra és a biomasszára) az A5: *Enterobacter ludwigii* rendelkezett (2. ábra). A mustár csírázási %-a és a keletkezett biomassza erősen összefügg. Ez

alapján nem feltétlenül volt érdemi hatása a biomasszára a törzseknek, hanem csak a csírázást serkentették nagyban, és ezt mértük vissza biomassza növekményként.



2. ábra. Az mustárnövény csírázási %-a, és a száraz tömegének %-os változása a kezelések hatására a kontrollhoz viszonyított "response ratio" (RR) értékek az oltások hatására: A5 - *Enterobacter ludwigii*, Bm - *Bacillus megaterium*, Bs - *Bacillus subtilis*, D1 - *Kosakonia cowanii*, Pf - *Pseudomonas fluorescens*, Th - *Trichoderma harzianum*

Hasonló következtetésre juthatunk az angolperje teszt növényénél is. Nem volt szignifikáns különbség a kapott eredményekben, de a kontrollal szemben minden kezelés nagyobb biomasszával rendelkezett, kivéve a D1: *Kosakonia cowanii* és a Bs: *Bacillus subtilis* kezelést. Ez jelezheti azt, hogy a baktérium törzsek, és a célnövény között interakció áll fenn, és nem általános, minden növényfajra kiterjedő a pozitív PGP hatásuk. A legnagyobb különbségeket a növekedésben az A5: *Enterobacter ludwigii* (RR = +9,75 %) és a Bm: *Bacillus megaterium* (RR=11,24 %) mutatta a kontrollhoz képest (3. ábra).



3. ábra. Az angolperje száraztömegének %-os változása a kezelések a kontrollhoz viszonyított "response ratio" (RR) értékek az oltások hatására: A5 - *Enterobacter ludwigii*, Bm - *Bacillus megaterium*, Bs - *Bacillus subtilis*, D1 - *Kosakonia cowanii*, Pf - *Pseudomonas fluorescens*, Th - *Trichoderma harzianum*

3.3.2 Az alkalmazott mikroorganizmus törzsek hatása a talajok enzimaktivitására

Az FDA enzimaktivitás és a mért növényi tulajdonságok korrelációs analízisét is elvégeztük. Megállapítottuk, hogy az FDA általában pozitív korrelációt mutatott az összes mért

növényi paraméterrel, kivéve a mustár hajtások hosszát, ami további vizsgálatokat igényel. De az eredmények statisztikailag nem voltak igazolhatóak, mivel a kevés talajmennyiség miatt pusztán tájékoztató jellegű átlagmintákat-képeztünk kezelésenként az FDA méréshez (4. táblázat).

4. táblázat. FDA korrelációja a mustár növény mért paramétereivel

	r	P-value
Kicsírázott magok/sejt	0,3087	0,5005
Nedves tömeg (g/sejt)	0,3622	0,4247
Száraz tömeg (g/sejt)	0,3657	0,4199
Hossz átlag (mm/sejt)	-0,5497	0,2012

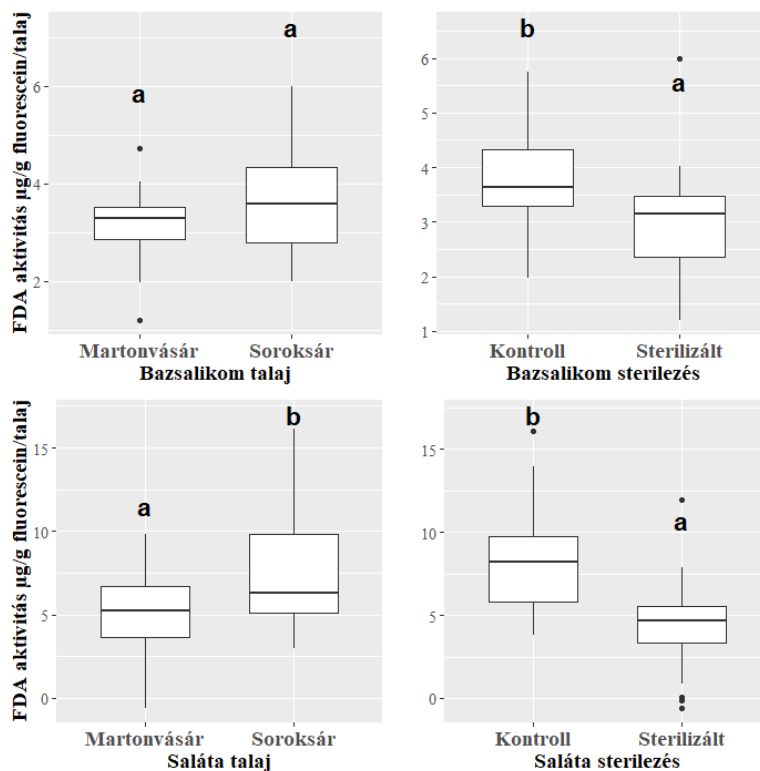
3.4 A talajsterilizálás és az alginit alkalmazásának hatása mikrobiálisoltás sikerességére

3.4.1 A kezelések hatása a talajbiológiai aktivitására

Az FDA-t vizsgáltuk mindkét növény talajában. A növények között szignifikáns különbség volt látható az FDA aktivitást illetően ($F(1, 90) = 48.003$, $p < 0.001$), ahol a saláta talaja mutatta a magasabb talajbiológiai aktivitást.

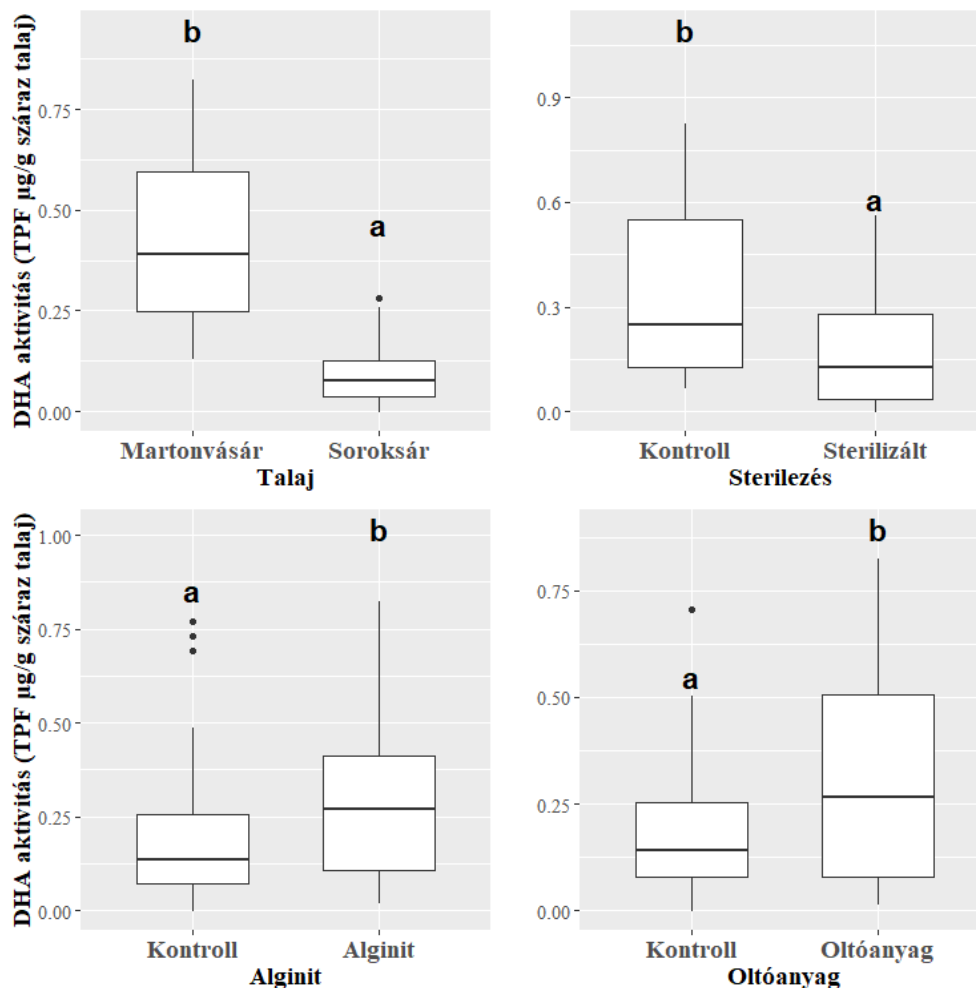
A többi paramétert növényeként külön vizsgáltuk. A talajok közötti különbség csak a saláta esetén mutatott szignifikáns ($F(1, 43) = 17.804$, $p < 0.001$) eltérést, ahol a martonvásári talaj adott magasabb értéket.

A sterilizálás a bazsalikom és a saláta teszt növények esetében is szignifikánsan alacsonyabb FDA enzimaktivitásokat mutatott a minták talajában (Bazsalikom ($F(1, 43) = 7.403$, $p < 0.01$); Saláta ($F(1, 43) = 30.147$, $p < 0.001$)). (4. ábra). A többi paraméter esetében nem állapítottunk meg szignifikáns különbségeket.



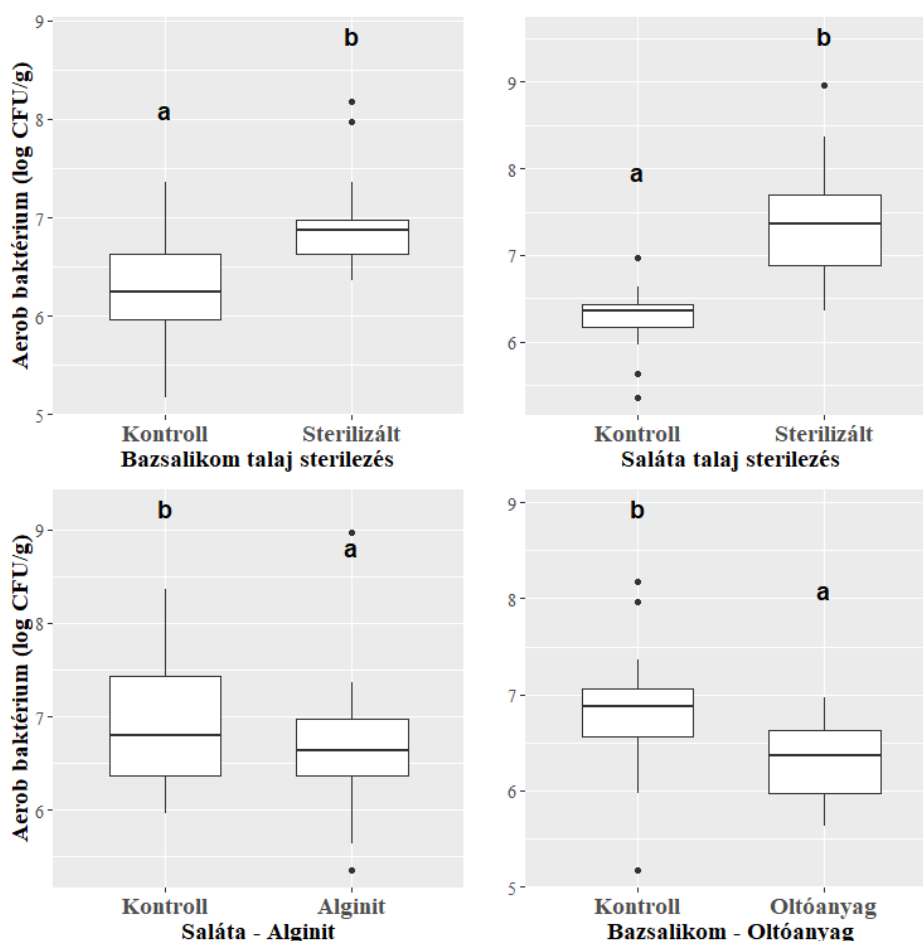
4. ábra. A talaj FDA aktivitása a különböző növények, talajok és a talaj sterilizálásának hatására.

A DHA-t csak a bazsalikom növény talajában vizsgáltuk, ahol a bazsalikom minden faktorra szignifikáns eredményt mutatott. A talajok közül a martonvásári talaj eredménye bizonyult magasabbnak ($F(1, 43) = 90.563$, $p < 0.001$). A talaj sterilizálása után a kontroll mutatott magasabb DHA értékeket ($F(1, 43) = 24.267$, $p < 0.001$). Az alginit bekeverésével is magasabb értékek mutatkoztak ($F(1, 43) = 4.896$, $p < 0.05$). Az alginitnek a talaj enzimaktivitásra gyakorolt hatását hasonló rendszerben tudomásunk szerint más még nem vizsgálta. Az oltóanyag hatására is nagyobb enzimaktivitás értékeket tudtunk kimutatni ($F(1, 43) = 12.821$, $p < 0.001$) (5. ábra).



5. ábra. A talajok DHA aktivitásának alakulása a bazsalikom növénynél a talaj-sterilizálás hatására.

A növények között szignifikáns különbség látható az *aerob baktériumok* (log CFU/g) csíraszám értékei között ($F(1, 90) = 5.053$, $p < 0.05$), ahol a saláta rendelkezett magasabb aerob sejtszámokkal. A sterilizálás azonban mindkét növénynél szignifikánsnak bizonyult; bazsalikom ($F(1, 43) = 32.453$, $p < 0.001$), saláta ($F(1, 43) = 51.191$, $p < 0.001$). Mindkét növény esetében a sterilizálás növelte a talajban található aerob mikroorganizmusainak a számát a sterilizálástól számított negyedik héten. A kezelés csak a saláta esetében mutatott szignifikáns ($F(1, 43) = 4.464$, $p < 0.05$) eltérést. A oltóanyag-kezelés viszont csak a bazsalikom esetében volt szignifikáns ($F(1, 43) = 15.518$, $p < 0.001$) (6. ábra).



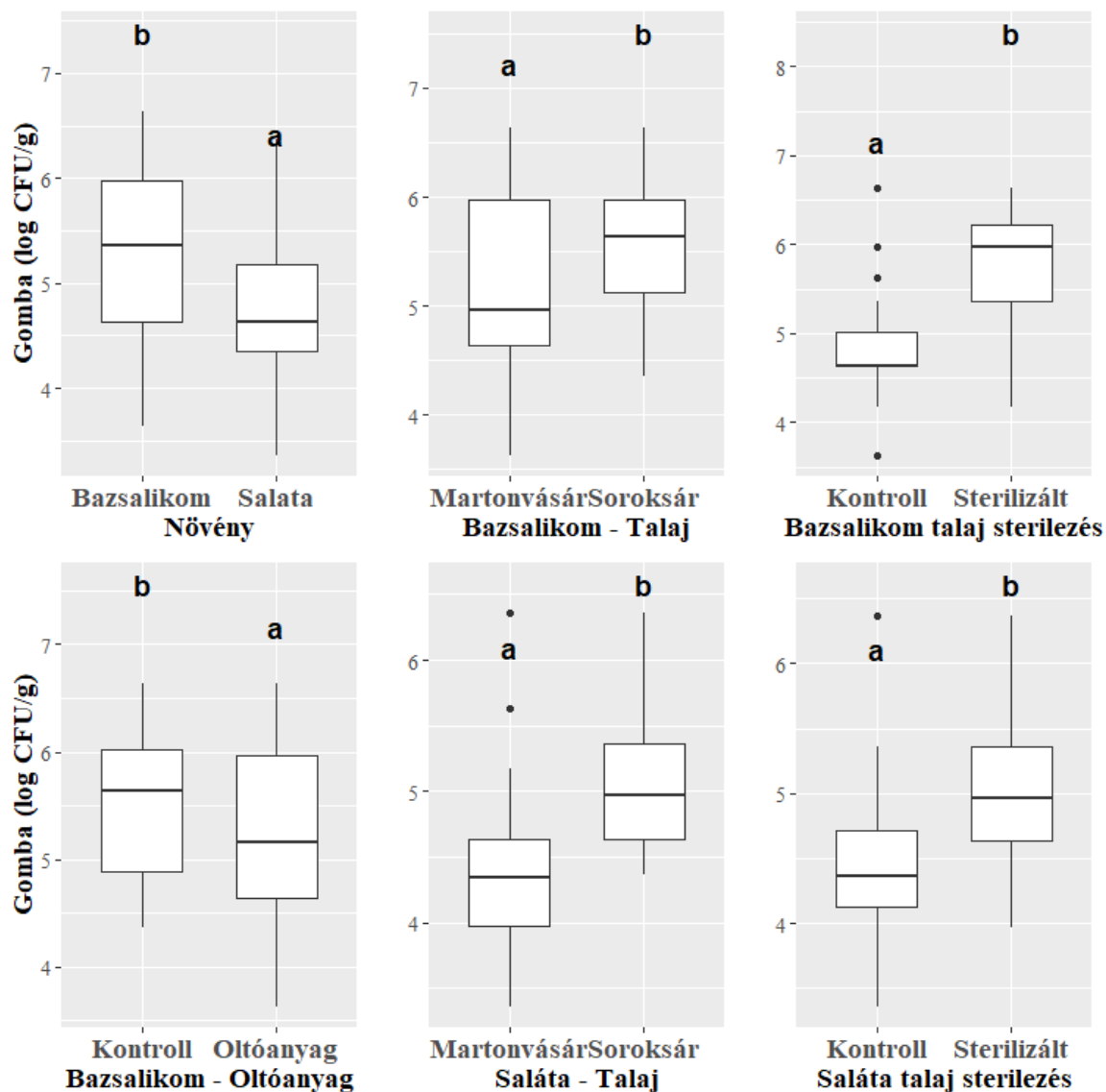
6. ábra. Az Aerob baktériumok (log CFU/g) sejtszámai a talajok sterilizálása, alginit kezelése és az oltóanyagok hatására.

A növényeket vizsgálva szignifikáns magasabb értékeket a bazzalikom növények mutatnak a gomba sejtszám (log CFU/g) értékeinél ($F(1, 90) = 33.881, p < 0.001$

Összefoglalva a sterilizálás jelentősen befolyásolta a mikroorganizmusok élő sejtszámait és a talaj-enzimaktivitását. A sterilizálás során elpusztultak a talajban eredetileg jelen lévő mikroorganizmusok, de az üres életteret a levegőből érkező és a növények átültetésével bevitt mikrobák gyorsan kolonizálták. Négy héttel az ültetés után a sterilizált talajban is kimutatható volt a mikrobiális jelenlét, és a mikrobák száma még magasabb is lett, mint a nem steril körülmények között. Ezzel viszont nem tudtak lépést tartani a vizsgált enzimek aktivitásai. Ennek oka az lehet, hogy az extracelluláris enzimek lényegében megsemmisültek, és ezek pótlásához több időre volt szükség.

Az alginit kezelés nem volt szignifikáns hatással sem a talaj DHA enzimek aktivitására, sem pedig annak a mikroorganizmus abundanciájára.

A bazzalikomnál a soroksári talaj szignifikánsan magasabb értékeket mutatott a talaj kitenyészthető mikroszkopikus gombaszáma ($F(1, 43) = 6.250, p < 0.05$), úgyszintén a saláta növényénél ($F(1, 43) = 14.010, p < 0.001$) is. A talajok sterilizálása mindkét növény hatására szignifikáns értékeket mutatott; a bazzalikomnál ($F(1, 43) = 40.674, p < 0.001$), a salátánál pedig ($F(1, 43) = 11.418, p < 0.01$). Mindkét növény esetében a sterilizálás növelte a talajban található mikroszkopikus gombák sejtszámát a sterilizálástól számított negyedik héten. Az alginit kezelésnek nem volt, míg az oltóanyag kezelésnek volt szignifikáns hatása a bazzalikom növényénél a mikroszkopikus gombák sejtszámára a talajban ($F(1, 43) = 6.250, p < 0.05$) (7. ábra).



7. ábra. A mikroszkopikus gombák log (CFU) értékei a talajokban, a különböző növények, a talajok és a talaj-sterilizálás, valamint az oltóanyag hatására.

Az, hogy a *B. megaterium*-mal való inokuláció csökkentette a kitenyészhető aerob baktériumok, és a mikroszkopikus gombák számát, ellentétes az irodalmi adatokkal (Zhao et al., 2021), ahol az oltás növelte az oltott mikroorganizmusok abundanciáját, de meg is változtatta a mikroorganizmus közösség összetételét. Az is lehetséges, hogy a *B. megaterium* átvette az élettér egy részét, ez pedig a vizsgált abundancia értékek csökkenésében mutatkozik meg, de a mikrobiális biomassa állandó maradt a talajban, mivel a *B. megaterium* sejtmérete nagyobb a többi *Bacillus* fajéhoz képest (innen ered a neve). Ezért nőhetett a DHA enzimaktivitása az oltás során. De ennek a megállapításához, direkter mikrobiális biomassa vizsgálatok lennének szükségesek.

3.4.2 Növényi biomassa értékek változása a vizsgált faktorok hatására

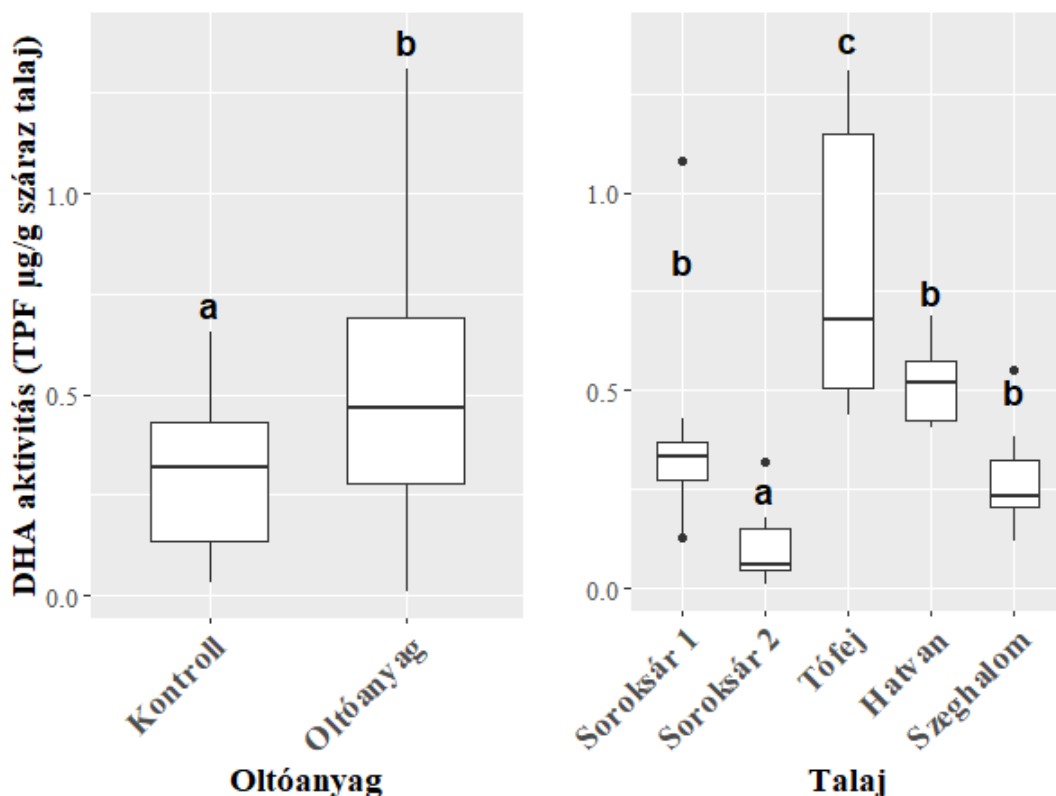
Növényenként vizsgáltuk a száraz biomassa tömegek alakulását. A bazsalikomnál a martonvásári talajon nevelt növények esetén szignifikánsan magasabb értékeket kaptunk ($F(1, 43) = 15.161$, $p < 0.01$). A sterilizálás mindkét növényenél szignifikáns különbségeket eredményezett. A bazsalikom esetében ($F(1, 43) = 19.793$, $p < 0.001$), a salátánál pedig ($F(1, 43) = 11.604$, $p < 0.01$). Mindkét növényenél a talaj-sterilizálásnak a hatására emelkedett a növények száraz biomassa tömege. Ennek oka a feltáródott plusz tápanyagok lehettek. A

növényi száraz biomassa tömegére nem volt hatása az alginites kezelésnek, sem az oltóanyagnak, és még interakciót sem tudtunk igazolni.

3.5 Oltóanyag-keverék tesztelése öt különböző talajon, bokorbab és csemegekukorica teszt növényekkel, tenyészedény-kísérletben

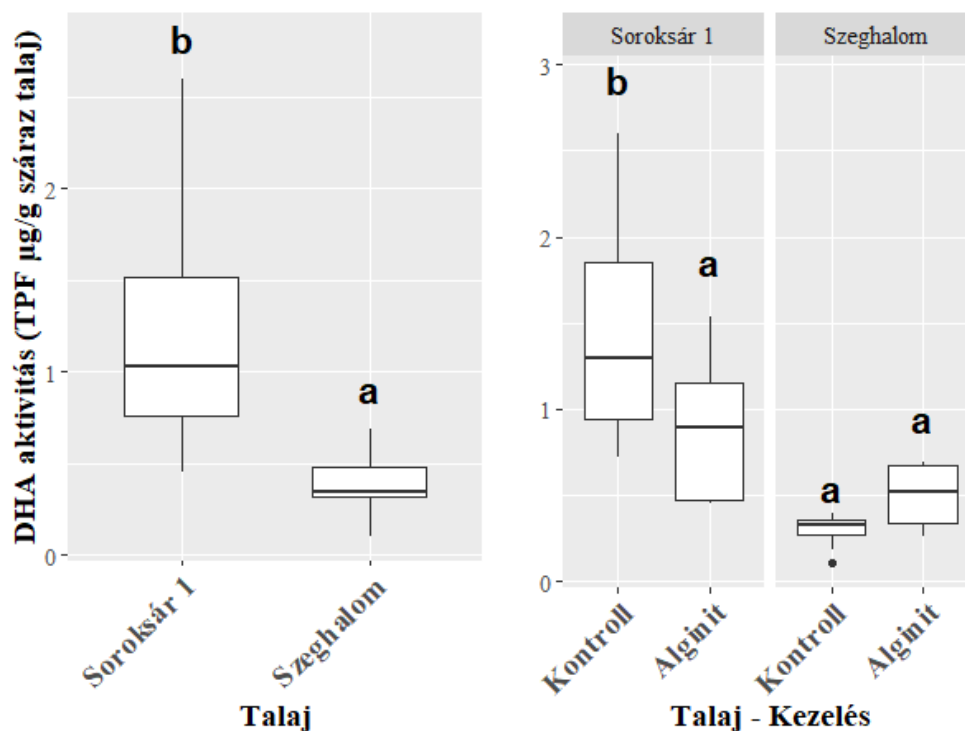
3.5.1 Talajbiológiai eredmények vizsgálatának az eredménye a különböző talajok, és alginites kezelés összehasonlítására

A talajok között a bab ($F(4,34) = 14.75$, $p < 0.001$) és a kukorica ($F(4,34) = 11.347$, $p < 0.001$) esetén is szignifikáns különbség volt a DHA esetében. Az oltóanyag hatása is szignifikánsnak bizonyult a bab teszt növény talajainak esetében ($F(1,34) = 14.18$, $p < 0.001$) (8. ábra). A bab növény esetében kimutattunk interakció-hatást a talajok és az oltóanyag között. A Tófej talajon az oltóanyag kezelés szignifikánsan magasabb dehidrogenáz enzimaktivitást mutatott ($F(4,34) = 3.194$, $p < 0.05$).



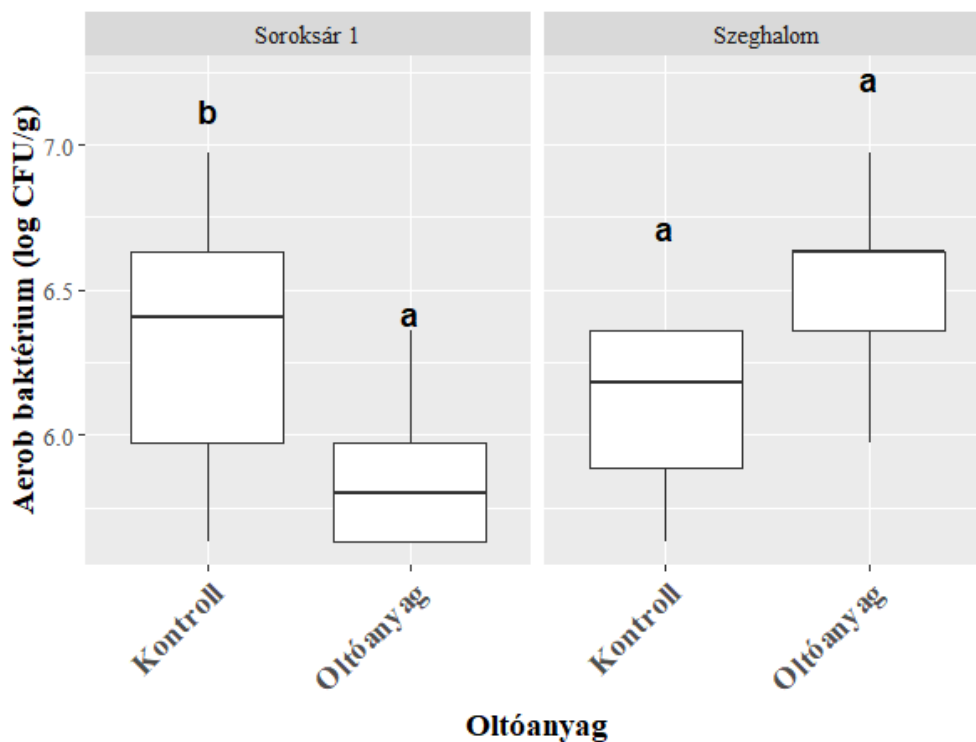
8. ábra. DHA értékek alakulása az oltóanyag és a különböző talajok esetében a bab növényenél (A fenti eredményekről csak a babra vonatkozó eredményeket prezentálom ábrával, mivel a babnál és a kukoricánál is ugyanaz a mintázat áll fenn a talajokra vonatkozóan).

Az alginit szignifikáns hatása kukorica teszt növényenél igazolódott, így a Soroksár1 talajnál magasabb DHA értéket ($F(1,24) = 32.506$, $p < 0.001$), valamint alginit-talaj interakciót eredményezett. A kezelés ezzel egyidőben a kontrolltól alacsonyabb DHA aktivitást okozott ($F(1,24) = 7.577$, $p < 0.05$) (9. ábra).



9. ábra. A DHA értékek alakulása az oltóanyag és a különböző talajok esetében alginittel kezelve a kukorica növénynél.

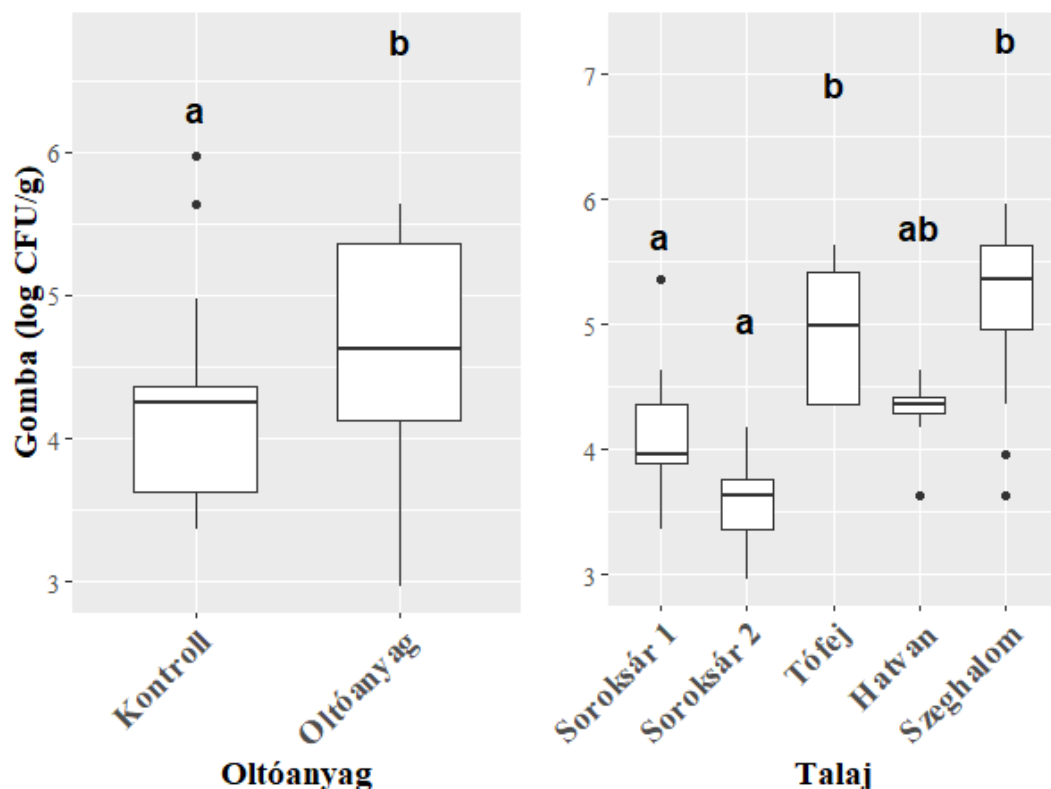
Interakció-hatás állt fenn *aerob baktériumok* abundanciájára, a bab növénynél a Soroksár 1 talajon az oltóanyag alkalmazás esetén. Ez szignifikánsan alacsonyabb aerob baktérium számot eredményezett az oltás ($F(1,24) = 12.518, p < 0.01$) esetében (10. ábra), vagyis az oltás hatása talajfüggő volt, az alginites (és ennek kontroll mintái) értékelésekor, az oltóanyag hatására. Tudomásunk szerint egyetlen tanulmány sem vizsgálta a talajtípus és az oltásnak a talajban lévő baktériumszámra gyakorolt hatását, az alginites kezelések mellett.



10. ábra. Az aerob baktériumok (log CFU/g) mennyiségének alakulása a különböző talajok esetében az oltóanyag kezelés hatására a bab növénynél.

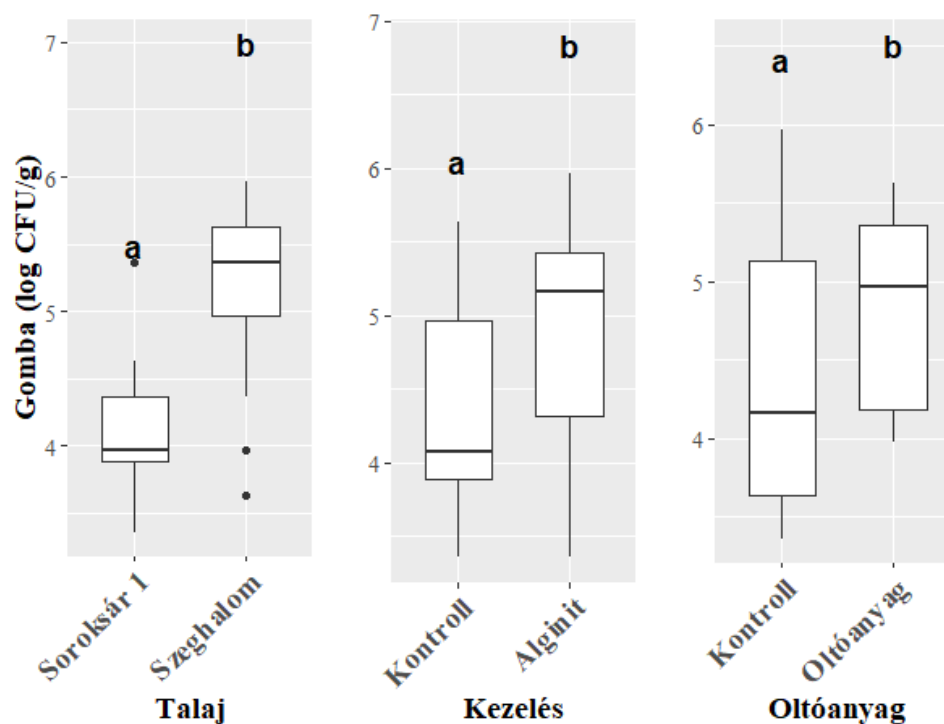
A kitenyészthető gomba (log CFU/g) mennyiségére, a bab növénynél a talajok is ($F(4,34) = 14.81$, $p < 0.001$) és az oltóanyag is ($F(4,34) = 14.96$, $p < 0.001$) is szignifikánsnak bizonyult (11. ábra). A kukoricánál viszont egyik faktor sem.

Az interakció szignifikánsnak bizonyult a bab növénynél. Az oltóanyaggal kezelt Tófej és Szeghalom talajok esetében magasabb volt a kitenyészthető gombák száma ($F(4,30) = 8.319$, $p < 0.001$). Ez arra utal, hogy a gomba-komponensek – feltehetőleg elsősorban a *T. harzianum* – sikeresen túléltek a kijuttatást és képesek voltak fennmaradni a talajban a mérés időpontjáig, és/vagy az oltóanyag ezeken a talajokon elősegítette a mikroszkopikus gombák mennyiségét. Ebből következően megállapíthatjuk, hogy az oltóanyagok a legkövetkező talajon fejtették ki leginkább hatásukat a mikroszkopikus gombák esetében (Tófej KA 54, Szeghalom KA 57,5).



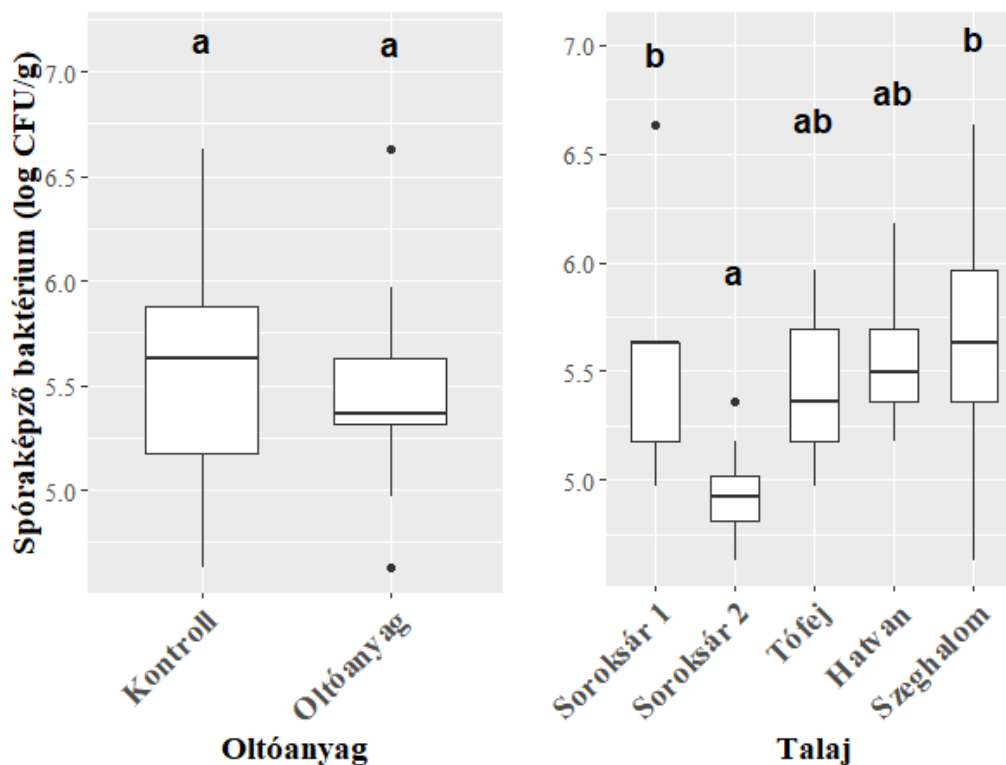
11. ábra. A kitenyészthető gomba (log CFU/g) mennyiségének alakulása a különböző talajok esetében az oltóanyag kezelés hatására a bab növénynél.

Az alginites összehasonlítások esetén a bab tesztnövény talajmintái esetén az összes faktor szignifikáns különbségeket mutatott a kitenyészthető gombaszámában; talaj - ($F(1,24) = 62.959$, $p < 0.001$); alginit - ($F(1,24) = 17.619$, $p < 0.001$); oltóanyag - ($F(1,24) = 8.195$, $p < 0.01$) (12. ábra). Valamint releváns az interakció is a faktorok között; az alginit-mentes kezeléseknél az oltóanyag hatása szignifikáns volt ($F(1,24) = 8.515$, $p < 0.001$).



12. ábra. A kitenyészthető gomba (log CFU/g) értékek alakulása a különböző talajok esetében az alginit kezelés és az oltóanyag kezelés hatására a bab növénynél.

A spóráképző baktériumok (log CFU/g) esetén a bab növények talajmintáiban mindkét paraméter szignifikánsan különbözött egymástól; talaj ($F(4,34) = 3.595$, $p < 0.05$), oltóanyag ($F(1,34) = 5.929$, $p < 0.05$) (13. ábra). Azonban az interakció nem volt szignifikáns a talajok és az oltóanyag között a spórás baktériumok abundanciájában.



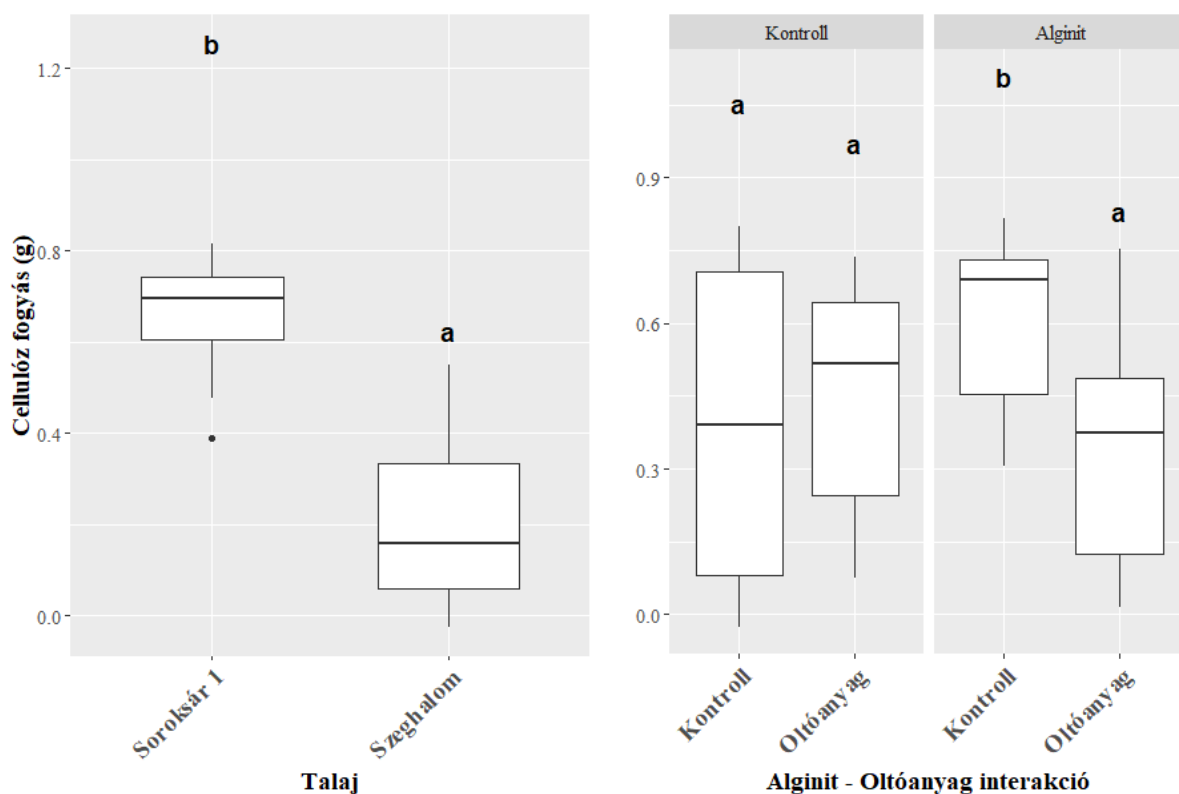
13. ábra Kukorica növény esetében a spóráképző baktériumok száma az oltóanyag hatására és a különböző talajokon.

A mikrobiális eredményeket összegezve elmondható, hogy a talajok között volt a legmarkánsabb a különbség. Az oltóanyag egyedül a bab növények talajaiban mutatott szignifikáns a DHA aktivitást, valamint szignifikáns különbséget a gomba és a spóráképző baktériumok számában. Az oltás hatása a natív talajbaktérium-közösségek összetételére és abundanciájára meglehetősen ellentmondásos, egyértelmű tendenciák nem figyelhetők meg (Mallon et al., 2015; Mawarda et al., 2022).

A DHA és a mikrobiális paraméterek így egy pozitív összefüggést adnak, ahol DHA jelzi az oltóanyag sikerességét a talaj mikrobiális paramétereinek növelésére. Interakció a Tófej és a Szeghalom talajon volt megfigyelhető a talaj és a mikrobiális oltóanyag között. Megállapíthatjuk tehát, hogy a talajok kiinduló fizikai félesége alapvetően befolyásolja a talaj „fogékonyságát” a mikroorganizmusokra (Kincses et al. 2008). Az agyagos, sok kolloiddal rendelkező Tófej, Hatvan és Szeghalom talaj több életteret tudott biztosítani a mikroorganizmusok számára, ezért a talaj általánosságban nagyobb MPN értékeket mutatott.

Vizsgáltuk a *szervesanyag lebontást* Unger-féle teszt (1960) segítségével. A cellulózbontás csak a talajra mutatott szignifikáns különbséget ($F(4,34) = 9.794$, $p < 0.001$). A talajok közötti különbség valószínűleg a talajok fizikai féleségéből fakad. A Soroksár1 talaj egy homokos talaj, a szeghalmi talaj pedig egy nehéz, agyagos, kötött talaj, így nehezen járja át az oxigén. A talajnedvesség különbségek nagy mértékben befolyásolhatnák a Soroksár1 talajnak a mikrobák lebontó képességét meghatározó tulajdonságát gyenge víztartó képességű homoktalaj révén, ezért a kísérleti körülmények között a talajnedvesség folyamatos kontrolálását végeztük, folytonos öntözéssel.

Az alginites kezelések esetén a cellulóz fogyás továbbra is szignifikáns különbségeket mutatott a talajok között ($F(1,24) = 101.892$, $p < 0.001$). Valamint interakció volt az alginittel kezelt tenyészedényekben, az oltóanyaggal nem kezelt talajok esetén szignifikánsan magasabb volt a cellulózfogyás ($F(1,24) = 10.353$, $p < 0.01$) (14. ábra).



14. ábra A cellulózfogyás mértéke a bab növény esetében a különböző talajokon, mikrobiális oltás és alginít kezelés hatására.

3.5.2 A biomassa száraz tömege (g)

A növények száraz biomasszája mindkét növénynél szignifikáns különbségeket mutatott a különböző talajokon, viszont nem volt szignifikáns az oltóanyagra nézve. A bab növények esetében ($F(4,34) = 9.794$, $p < 0.001$), a kukoricánál pedig ($F(4,34) = 3.121$, $p < 0.05$) szinten volt szignifikáns a talaj faktorra nézve. De a talajok interakciója nem állt fenn sem az oltóanyaggal, sem pedig az alginittel.

3.6 Szabadföldi kísérlet

A 2019-2021 között végzett méréseket a 0-20 cm-es talajmélységre értékeltük ki. Viszont meghatározott paraméterek kapcsán vizsgáltuk a 0-10 és 10-20 cm közötti különbséget, amelyeket a megfelelő helyen fogok bemutatni.

Az eredmények kiértékeléséhez több faktoros ANOVA-t alkalmaztunk. A fő faktorok következők voltak: Talajmegújító módszerek (kezelések), Oltóanyag használata, Idő (évek között beállt változások), és bizonyos helyeken a talaj mintavétel mélysége. Valamint korrelációs vizsgálattal elemeztük a különböző talajparaméterek közötti összefüggést.

Az alginit, mulcs, és takarónövény kezelések és a mikrobiális oltóanyagok hatását a talajra és termésre az évek során monitoroztuk. Elsősorban ezek hatását vizsgáltuk a különböző biológiai paramétereken, talaj szénre és termésre gyakorolt hatásán keresztül. Továbbá vizsgáltunk különböző talajkémiai, fizikai tulajdonságokat, ellenőrző jelleggel.

3.6.1 Talajbiológiai eredmények alakulása szabadföldi kísérletben a talajerőgazdálkodási technológiák és az oltóanyaggal való kombinációjuk hatására

Az *aerob baktériumok* (log CFU/g) mennyiségére, a kezeléseknek és az oltóanyagnak, nem volt szignifikáns hatása, de a vizsgálat évek között szignifikáns csökkenés volt kimutatható ($F(2,65)=158,409$ $p<0,001$).

A *spórás baktériumok* hasonló eredményeket mutatnak, mint az aerob baktériumok abundanciája. A kezelés és az oltóanyag nem mutatott szignifikáns különbséget a kitenyészthető spórás baktériumok számában, míg az idő faktor ($F(2,65) F=25,017$, $p<0,001$) igen, egy csökkenő tendenciát.

A *mikroszkopikus gombák* MPN-el mérhető értékei is szignifikáns csökkenést mutatnak az évek során ($F(2,65) F=111,844$, $p<0,001$). A kezelés és az oltóanyag nem mutatott szignifikáns különbségeket. Ezeket a csökkenő tendenciákat a *csapadék mennyiség* csökkenése is okozhatta a 2019-2021-es évben, annak ellenére is, hogy a terület öntözött volt. A *DHA* aktivitás esetén szignifikáns különbségeket figyeltünk meg az évek során ($F(2,65) F=52,323$, $p<0,001$), de nem ez mutatott egyértelmű tendenciát, azonban a kísérlet végén jelentősen magasabb értékeket mértünk a kiindulási állapot értékeihez képest.

A talajbiológiai paraméterek trendszerű változásai az évek során ellentmondásosnak hathatnak, hogy a csökkenő kitenyészthető mikroorganizmus szám ellenére a DHA nem követi ezt a trendet. Erre egy magyarázat lehet, hogy csökkent a mikroorganizmusok MPN-nel kimutatható száma, de nőtt a talajban a biodiverzitás. A talaj-táplálékháló komplexebbé válásával több olyan szervezet is megjelenhetett, ami mikroorganizmusokkal táplálkozik, így csökkent ezek száma, de a talaj biológiai aktivitása összességében nőtt. De ennek megerősítéséhez a mikrobiális biomasszát mérő további tesztek alkalmazására lenne szükség. Viszont indirekt módon a DHA enzimen keresztüli talajbiológiai aktivitás vizsgálata is alkalmas erre (Sinsabaugh et al., 2016).

A mikroorganizmusok csökkenése egy minimum-till művelés esetén ellentmondásos lehet, de ezt jelezheti a talaj-táplálékháló átalakulása. Pusztán az alkalmazott módszerekkel kimutatható mikroorganizmusok száma csökkent. Több forrás is azt erősíti meg, hogy minimum művelési gyakorlatok mellett nő a talaj mikroorganizmus abundanciája, és biológiai aktivitása (Khangura et al., 2023; Govednik et al., 2023). De a jelen kísérletben, ennek

vizsgálatára, nem volt olyan kezelés, amit konvencionálisan műveltünk volna, így nem lehet biztos kijelentéseket tenni.

3.6.2 Normalizált terméseredmények a talajerőgazdálkodási technológiák hatására

A kezelések ($F(3,67) = 13.627$, $p < 0.001$) között szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni. A post hoc teszt alapján a mulcsozott parcellák termés mennyiség eredményei a többi kezeléstől szignifikánsan magasabb értéket mutattak ($p < 0.001$). Ennek a legfőbb oka a mulcs gyomelnyomó tulajdonsága lehet, mivel a területen minimális talajművelést alkalmaztunk a vegetációs szezon elején és végén, ezért a gyomok elnyomó hatása jelentős problémát okozott. De ezeken felül befolyásolhatta az eredményeket a mulcs nedvesség megtartó képessége, valamint a hőmérsékleti szélsőségeket tompító hatása, hasonlóan a pH szabályzó hatást is. További meghatározó tényező volt a szalma mulcs folyamatos bomlásából eredő extra felvehető tápanyagok mennyisége is.

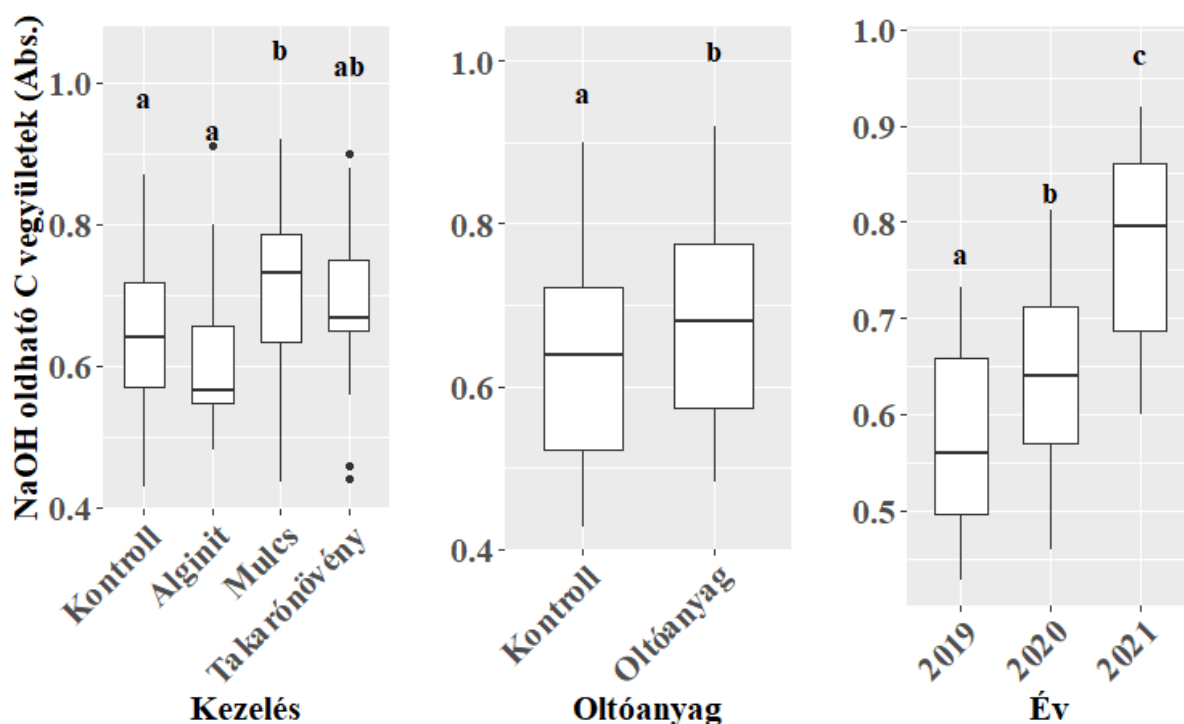
3.6.3 Talaj szén (C%) tartalmának mérése a talajerőgazdálkodási eljárások hatására

A talaj teljes szerves szén (TOC) tartalma (%) jelentős növekedést mutatott a vizsgált hároméves időszak alatt. Különösen, az átlagos TOC érték 2019-ről 2020-ra 1,906 %-ról 2,055 %-ra emelkedett, ami +7,8 %-os relatív növekedést jelent az első évben. Ez a jelentős növekedés 2020-ról 2021-re is folytatódott, tovább emelkedve 2,116 %-ra, ami további +3 %-os relatív növekedést jelent a második évben. Azonban az idő és a kezelés faktorokhatása nem volt szignifikáns, az oltóanyag hatására szignifikánsan magasabb volt a TOC ($F(1,65) = 4.072$, $p < 0.05$) mennyisége.

3.6.4 A talajban található szervesanyagai, és minőségi indikátorinak vizsgálata a talajerőgazdálkodási technológiák és az oltóanyagok kombinációik hatására

Az 1% NaF oldattal oldható szerves anyagok elemzése szignifikáns változásokat mutatott a kezelések ($F(3, 65) = 4,382$, $p = 0.007$) és az oltóanyag ($F(1,65) = 4557$, $p = 0.037$) hatására. A takarónövényes kezelések szignifikánsan nagyobb eredményeket mutattak az alginít és a mulcs kezeléshez képest, valamint az oltóanyag is szignifikánsan nagyobb volt a kontrollhoz képest. Ez összefügghet azzal, hogy mind a takarónövény, mind az oltóanyag nitrogénben dúsabb szervesanyagokat produkál a szerves N-kötés révén. A takarónövény esetében kifejezett kontrasztot jelentett a mulcs és alginít, amik inkább C-ben domináns vegyületekkel dúsították a talajt.

A 0,5% NaOH oldattal oldható szerves anyagokra jellemző, hogy a talaj friss, még a humifikáció kezdeti stádiumában járó szerves anyagok frakciójához tartoznak. Az eredmények azt mutatták, hogy mindhárom faktor esetében szignifikáns különbség található. A kezelésnél ($F(3, 65) = 4,009$, $p = 0.011$) a mulcs kezelés esetén mutattuk ki a legnagyobb értékeket, amely az alginít kezeléstől mutatott szignifikáns eltérést. Az oltóanyagnál ($F(1, 65) = 9,235$, $p = 0.003$) az oltott parcellák szignifikánsan nagyobb értékeket mutattak a kontrollhoz képest. Azonban a legnagyobb változást az évek között tudtuk kimutatni ($F(2, 65) = 35,502$, $p < 0.001$). A post hoc elemzés jelentős különbségeket mutatott 2021-2019 ($p < 0.001$), 2021-2020 ($p < 0.001$) között, ami 35.89 %-os növekedést jelent 2019 és 2021 kísérleti évek között. 2019 és 2020 között már nem volt ennyire jelentős különbség, de továbbra is szignifikáns ($p < 0.05$) különbségeket tudtunk kimutatni (15. ábra). Ez jelzi, hogy a 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagok kiváló indikátorai a friss szervesanyag-növekedésnek a talajban.



15. ábra. A 0,5% NaOH-dal oldható C vegyületek mennyisége a kezelések, oltóanyagok és idő hatására.

A *permanganát-oxidálható szén (POXC)* eredmények a 0,5% NaOH-dal oldható szervesanyagokhoz hasonló, de még jelentősebb hatásokat mutattak az évek közötti változásra, összességében 68,97 %-os növekedéssel 2019 és 2021 között. Az Év tényező jelentős volt ($F(2, 24) = 41.943$, $p < 0.001$), a post hoc teszt minden év közötti szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0.001$). Viszont ebben az esetben a kezelés és az oltóanyag faktorban nem volt szignifikáns különbség.

A *talaj oldott szerves anyagainak (Dissolved Organic Carbon - DOC)* esetében az eredmények azt mutatták, hogy az idő tényező ($F(2, 64) = 147.66$, $p < 0.001$) jelentős hatást gyakorolt. A DOC értékek az első év után kifejezett növekedést mutattak, majd visszatértek a kezdeti szintekre. Ez a szezonális hatásokra való nagy érzékenységeinek tulajdonítható. A kezeléseknek is jelentős hatásuk volt a DOC-ra ($F(3, 64) = 5.906$, $p < 0.01$). A kezelési csoportok összehasonlítása szignifikáns különbségeket mutatott ($p < 0.01$) a mulcs-alginit és a mulcs-kontroll párosok között. Az oltóanyag-kezelés is szignifikánsan magasabb értékeket adott az oldott szerves anyagok mennyiségében a kontrollhoz képest ($F(1, 64) = 5.104$, $p < 0.05$). Ez azt jelenti, hogy ellentétben más módszerekkel, a DOC túlságosan érzékeny az évek közötti tartós szénszint növekedésének vizsgálatához, de elég érzékeny ahhoz, hogy rövid távú kísérletben a kezelések közötti különbségeket vizsgálja.

A *glomalin (Easily extractable glomalin-related soil proteins - EE-GRSP)* adataink szignifikáns különbséget jeleztek a kezelés tényezőre ($F(3, 65) = 11.264$, $p < 0.001$). A kezeléseknél a mulcsozott parcellák szignifikáns nagyobb értékeket mutattak a -kontroll ($p < 0.001$), és az alginithoz ($p < 0.001$) képest. Valamint a takarónövény szignifikánsan nagyobb értékeket eredményezett az alginites parcellák talajaihoz képest ($p < 0.05$). Az oltóanyag faktor szignifikánsan magasabb a kontrollhoz képest ($p > 0.01$). Interakció nem állt fent a faktorok között.

A glomalin, 2019-2020 között nem mutatott szignifikáns növekedést, de szignifikáns különbség volt 2020 és 2021 között ($p < 0.01$). Viszont a glomalin tartalom csökkenése

ellentmond az irodalmi adatoknak, mivel a glomalin átalakulási, bomlási ideje években mérhető (Holátka et al., 2021).

A mikrobiális biomassza-C (MBC) (mg/kg) értékek mérését az utolsó évben (2021) a talaj felső 10 cm-ből végeztük azzal a céllal, hogy a kezelések és az oltóanyag hatását megvizsgáltuk. Az oltóanyaggal kezelt parcellákon magasabb, de nem szignifikáns értékeket mutattunk ki. A kezelések között szignifikáns különbség volt kimutatható ($F(3, 16) = 5.529$, $p = 0.00846$). A takarónövényes parcellák szignifikánsan magasabb értékeket mutattak az alginittel kezelt ($p < 0.05$) és a mulcsozott ($p < 0.001$) parcellákhoz képest is. Ez a nagyobb élőnövény biomasszából fakadhat a területen, mivel a takarónövényes parcellákon sokkal több élőnövény volt, ezáltal több szén tudtak a talajba juttatni és a talajban tartani, ami táplálta az ott megtalálható mikroorganizmusokat. Míg a mulcsozott parcellákon elhalt növényi talajtakaró volt, ami akadályozta a nem kívánt gyomok növekedését, ezzel kevesebb C kerülhetett a kiválasztott gyökérváladékok által a mikroorganizmusokhoz.

3.6.5 A mért paraméterek korrelációs elemzésének eredményei a szabadföldi kísérlet adataiból

A főbb, terméssel, talajszén, nitrogén összefüggő paramétereket korreláció analízisnek vettük alá, hogy a kapcsolataikba mélyebb betekintést nyerhessünk, és hogy megtudhassuk mennyire feleltethetőek meg egymásnak a különböző talajszén-mérési módszerek. Ezt a kontroll és a három fő talajregeneráló módszer adataiból tettük meg, mivel ezekhez rendelkezésünkre álltak a nitrogén adatok is.

A legerősebb korreláció a talajban található stabil szénformák (1% NaF-dal oldható szerves anyagok) és a talaj teljes nitrogéntartalma között volt megfigyelhető ($r = 0,80$, $p < 0,001$). A TOC szintén pozitívan korrelált a nitrogéntartalommal ($r = 0,59$, $p < 0,001$). A talajban található könnyen lebomló szénformák mérései, a 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagok és a POXC is erősen korreláltak ($r = 0,68$, $p < 0,001$). A TOC és a 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagok között is erős korreláció volt megfigyelhető ($r = 0,62$, $p < 0,001$). Erős korreláció volt megfigyelhető a DOC és a gombákhoz kapcsolódó glomalin között is ($r = 0,62$, $p < 0,001$). A termés hozam mérsékelten korrelált a glomalin szintjével ($r = 0,49$, $p < 0,01$). Az irodalom szerint azonban a glomalin erősebben korrelál a TOC és a nitrogéntartalommal (Barna et al., 2020).

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

4.1 A mikrobiális oltások hatékonyságáról

A kísérletek során használt törzsek különböző környezeti feltételek között eltérő eredményeket mutattak, ami hangsúlyozza a talajspecifikus PGPM-ek adaptálásának és alapos tesztelésének fontosságát, különösen nagy léptékű alkalmazásoknál. Bár a kisléptékű kísérletek biztatóak voltak, a nagyobb skálájú tenyészedényes és szabadföldi tesztekben az eredmények kevésbé voltak szignifikánsak. Ez részben annak tulajdonítható, hogy a már adaptálódott talajlakó mikroorganizmusokkal szembeni versengés akadályozza az újonnan beoltott törzsek érvényesülését, különösen az ökológiai gazdálkodás alatt álló, biológiailag sokféle talajon.

4.2 Az alginit, mint talajadalék, a talajtulajdonságokra gyakorolt hatása

Az alginit használata főként savanyodásra hajlamos, tápanyagban szegény talajokon hatékony, ahol segít pH értékek stabilizálásában és ásványi anyagok, mint kalcium és foszfor, szintjének növelésében. Kutatásunk során azonban a meszes Soroksári talajon minimális eredményeket észleltünk, és az alginit nem mutatott számottevő interakciót az alkalmazott oltóanyagokkal, mivel ezen a talajtípuson a jellemző problémák hiányoztak. Az alginit alkalmazását elsősorban azon talajokon ajánljuk, ahol a nitrogénműtrágyázás savanyító hatása érvényesül (Ragályi et al., 2019).

4.3 Az ökológiai gazdálkodásban használt talajerőgazdálkodási technológiák hatása a talajok tulajdonságaira

A szabadföldi kísérletünkben a talajmegújító művelés hatásait vizsgáltuk, mely során a biológiai tulajdonságok és a szervesanyag-formák változásait értékeltük. Legnagyobb pozitív változást a takarónövényekkel és mulcsozással kezelt parcellákon figyeltük meg, ahol a növények által megkötött nitrogén és a mulcsból származó szén jelentősen növelte a talaj szerves széntartalmát.

Azonban a minimális művelés gyomproblémákat okozott, melyeket a mulcs használata csökkentett. Ezen körülmények között ajánljuk a mulcs és takarónövények alkalmazását, különösen, ha cél a biomassa és a talaj széntartalmának növelése.

A mikrobiális aktivitás vizsgálata során a mikroorganizmusok számának csökkenése mellett a DHA aktivitás növekedett, utalva a talaj táplálékhálózatának átalakulására. A változások megértéséhez a közvetlen mikrobiális biomassa mérését és a talajfauna részletesebb vizsgálatát javasoljuk. De ezeket a változásokat a kísérlet ideje alatt csökkenő csapadék mennyiség is okozhatta, az öntözés ellenére.

4.4 A talajerőgazdálkodási módok (és az alginít) interakciója az oltóanyagokkal

A kezelések közötti interakciók jelentéktelenek voltak, azonban a talaj és az oltóanyag közötti kölcsönhatás bizonyos esetekben befolyásolta az aerob baktériumok és mikroszkopikus gombák számát a Tófej és a Szeghalom talajokon, valamint az alginít és oltóanyag kombinációja módosította a cellulózbontás sebességét. Ez arra utal, hogy az interakciók leginkább a talaj sajátosságaihoz kapcsolódnak. Mivel az oltóanyagok ritkán mutattak jelentős hatást, nehéz egyértelmű következtetéseket levonni az oltóanyagok hatékonyságáról a különböző körülmények között.

4.5 A talajregeneráló módszerek hatásához alkalmazható talaj szervesanyag mérési módszerek különböző időtávokra

A minimum-till művelési módok esetén kritikus a különböző időtávokhoz megfelelő szervesanyag-mérési módszerek kiválasztása, hogy a kezelések hatásai pontosan nyomon követhetők legyenek.

Rövidtávú vizsgálatokra a dissolved organic carbon (DOC) mérések ajánlottak, mivel gyorsan mutatják a változásokat.

Középtávú vizsgálatokhoz a 0,5% NaOH-dal oldható szervesanyagok és a permanganát-oxidálható szén (POXC) mérése, valamint a Hargitai-féle humuszminőség vizsgálata ideális, amelyek differenciáltan mutatják a friss és minőségi szerves anyagok változásait. Fontos kiemelni, hogy az 1% NaF-dal és 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagok értékelése külön-külön is történjen meg, nem csak a Q- vagy K-index alapján. Ezáltal pontosabban követhető, hogy a minőségibb, 1% NaF-dal oldható szerves anyagok értékei változatlanok maradnak-e, miközben a frissebb, 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagok mennyisége nő.

Hosszútávú változásokhoz a teljes szerves szén (TOC) és az 1% nátrium-fluoriddal (NaF) oldható szerves anyagok mérései ajánljuk. A *glomalin (EE-GRSP)* is a hosszútávú mérésekhez alkalmas (Holátko et al., 2021), de ezt az eredményeink nem támasztották alá.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az általunk az adott talajból izolált A5: *Enterobacter ludwigii* törzs képes volt pozitív hatást kifejteni a törzsszelekció első lépései során a mustár és angol perje növények növekedésére. A pozitív hatás létrejött a talaj nem specifikus FDA enzimjének a nagyobb aktivitásához is köthető. Ez az eredmény adott talajból származó törzsek fontosságára és a felhasználás sikerességének a potenciális jobbítására hívja fel a figyelmet.

2. Az izolált törzseket az eddig még nem, vagy csak kevésbé kutatott káliumoldó képességre (KSB) is teszteltük. Három saját izolálású törzsnél (**D1-Kosakonia cowanii**, **A3-Bacillus coreaensis**, **C1-Lelliottia amnigena**) elsőként mutattuk ki a KSB képességet, amely ezzel az új, eddig még nem vagy kevésbé kutatott tulajdonsággal alkalmas lehet gyakorlati felhasználásra is.

3. Az alginit vizsgálata esetén kimutattuk, hogy a talajok mellett a növény fajok interakciójának a vizsgálata is lényeges a talajbiológiai hatások kialakulásában. Jelentős volt, hogy hol, milyen körülmények között befolyásolja (növeli, vagy csökkenti) szignifikánsan a talajbiológiai (DHA, mikrobiális abundancia, szervesanyag bontó képesség) eredményeket. Ez az eredmény jól kiegészíti a korábbi kutatásokat, ahol a talajsavasodás problémáját, és alacsony tápanyag tartalmat kompenzálták vele. Elmondható, hogy az alginit felhasználási köre az általánosan ismert talajtulajdonságok szerint limitált és alkalmazása csak helyspecifikus módon lehet leginkább eredményes.

4. A nemzetközi és a hazai ismert szénvizsgálatok összehasonlításával érzékenységbeli különbségeket tudtunk megállapítani és pontos összehasonlító mérésekkel alátámasztani. A talaj aktív szén (POXC) tartalma a 0,5% NaOH-dal oldható szerves anyagokkal mutatott erős pozitív összefüggést ($r=0.68$, $p<0.001$), ami alátámasztja azt a feltételezésünket, hogy ezek a frissebb, labilisabb, az aktuálisan hozzáférhető szervesanyagokról adnak információt. Ezek az eredmények a hazai és nemzetközi módszerek összehasonlíthatóságához járulnak hozzá.

5. Kimutattuk, hogy a talajerőgazdálkodási művelésmódok nyomon követésére alkalmazható szervesanyag-vizsgálatokat a művelésmódváltás óta eltelt határidő szerint célszerű megválasztani. Amíg a POXC és a 0,5% NaOH-dal oldható szervesanyagok vizsgálata rövid távon a legjobb, addig a TOC és az 1% NaF-dal oldható szervesanyagok vizsgálata hosszabb távú vizsgálatokhoz bizonyult alkalmasnak.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Adam, G., Duncan, H., 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 943–951. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3)
- Barna, G., Makó, A., Takács, T., Skic, K., Füzy, A., Horel, Á., 2020. Biochar Alters Soil Physical Characteristics, Arbuscular Mycorrhizal Fungi Colonization, and Glomalin Production. *Agronomy* 10, 1933. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121933>
- Brown, G., 2018. *Dirt to Soil: One Family's Journey into Regenerative Agriculture*, 1st edition. ed. Chelsea Green Publishing, White River Junction, Vermont.
- Cochran, W.G., 1950. Estimation of bacterial densities by means of the “most probable number.” *Biometrics*, 6(2):105-16.
- Etesami, H., Emami, S., Alikhani, H.A., 2017. Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 17, 897–911. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>
- Govednik, A., Potočník, Ž., Eler, K., Mihelič, R., Suhadolc, M., 2023. Combined effects of long-term tillage and fertilisation regimes on soil organic carbon, microbial biomass, and abundance of the total microbial communities and N-functional guilds. *Applied Soil Ecology* 188, 104876. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104876>
- Hargitai, L., 1955. Összehasonlító szervesanyag-vizsgálatok különböző talajtípusokon optikai módszerekkel, in: *Agrártudományi Egyetem Agronómi Kar Kiadványa*, 10. Debrecen.
- Holátko, J., Brtnický, M., Kučerík, J., Kotianová, M., Elbl, J., Kintl, A., Kynický, J., Benada, O., Datta, R., Jansa, J., 2021. Glomalin – Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein. *Soil Biology and Biochemistry* 153, 108116. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108116>
- Kertész, Á. (Ed.), 2019. *Landscape degradation in Hungary*. Geographical Institute, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences. <https://doi.org/10.15201/978-963-9545-60-1>
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., Bowyer, J., 2023. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability* 15, 2338. <https://doi.org/10.3390/su15032338>
- Kincses S., Filep T., Kátai J., 2008. Szerves-, mű- és baktériumtrágyázás hatása a talajok 0,01 M CaCl₂- oldható tápelem-tartalmára. *Talajvédelem különszám*.
- Koltai, J.P., 2010. *Az ökológiai gazdaságok termelési tényezőinek és gyomszabályozási módszereinek ökonómiai elemzése*. PhD értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mosonmagyaróvár.
- Mahmood, T., Mehnaz, S., Fleischmann, F., Ali, R., Hashmi, Z.H., Iqbal, Z., 2014. Soil sterilization effects on root growth and formation of rhizosheaths in wheat seedlings. *Pedobiologia* 57, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2013.12.005>
- Mallon, C.A., Poly, F., Le Roux, X., Marring, I., van Elsas, J.D., Salles, J.F., 2015. Resource pulses can alleviate the biodiversity–invasion relationship in soil microbial communities. *Ecology* 96, 915–926. <https://doi.org/10.1890/14-1001.1>
- Mawarda, P.C., Mallon, C.A., Le Roux, X., van Elsas, J.D., Salles, J.F., 2022. Interactions between Bacterial Inoculants and Native Soil Bacterial Community: the Case of Spore-forming *Bacillus* spp. *FEMS Microbiology Ecology* 98, fiac127. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiac127>

- Meredith, S., Lampkin, N. és Schmid, O., 2018. *Organic Action Plans: Development, implementation and evaluation*. 2. kiadás. IFOAM EU, Brussels.
- Ragályi, P., Kádár, I., Csathó, P., Murányi, A., Radimsky, L., & Gajdó, A. (2019) 'Effect of Gércé Alginit on the fertility of an acidic sandy soil during five years', *Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont; Alginit Kft., Martonvásár; Budapest*.
- Sinsabaugh, R.L., Turner, B.L., Talbot, J.M., Waring, B.G., Powers, J.S., Kuske, C.R., Moorhead, D.L., Shah, J.J.F., 2016. Stoichiometry of microbial carbon use efficiency in soils. *Ecological Monographs* 86, 172–189.
- Tirado, R., 2015. Ecological Farming: The seven principles of a food system that has people at its heart | FAO [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/agroecology/database/detail/en/c/470132/> (accessed 8.28.24).
- Tyurin, I.V., 1951. Analytic procedure for a comparative study of soil humus. *Trudy PochvInst Dokuchayeva*, Trudy PochvInst Dokuchayeva 5–21.
- Unger, H., 1960. The cellulose test as a method for determining the cellulose-decomposing activity of soil in field experiments. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 91, 44–52.
- Vance, E., Brookes, P., Jenkinson, D., 1987b. An Extraction Method for Measuring Soil Microbial Biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703–707.
- Várallyay, G., 2001. Szemléletváltozások a magyarországi talajjavítás történetében. *Agrokémia és Talajtan*, 1-2 50, 119–135.
- Veres, Z., Kotroczó, Z., Magyaros, K., Tóth, J.A., Tóthmérész, B., 2013. Dehydrogenase Activity in a Litter Manipulation Experiment in Temperate Forest Soil. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 9, 25–33. <https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0002>
- Villányi, I., Füzy, A., Angerer, I., Biró, B., 2006. Total catabolic enzyme activity of microbial communities. Fluorescein diacetate analysis (FDA), in: Jones, D.L. (Ed.), *Understanding and Modelling Plant-Soil Interactions in the Rhizosphere Environment. Handbook of Methods Used in Rhizosphere Research. Chapter 4.2. Biochemistry*. Swiss Federal Research Institute WSL; Birmensdorf, pp. 441–442.
- Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., Samson-Liebig, S.E., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, 3–17.
- Wright, S.F., Upadhyaya, A., 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198, 97–107. <https://doi.org/10.1023/A:1004347701584>
- Zhao, Y., Mao, X., Zhang, M., Yang, W., Di, H.J., Ma, L., Liu, W., Li, B., 2021. The application of *Bacillus Megaterium* alters soil microbial community composition, bioavailability of soil phosphorus and potassium, and cucumber growth in the plastic shed system of North China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 307, 107236. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107236>

7. A DOKTORI ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Folyóiratcikkek (IF-es)

1. **Pabar, S. A.**, Kotroczó, Z., Takács, T., Biró, B., 2024. Evaluating the Efficacy of Selected **Plant Growth-Promoting Microorganisms** in Optimizing Plant Growth and Soil Health in Diverse Soil Types. *Agriculture* 14, 1586. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091586>
2. Kotroczó, Zs., Juhos, K., Biró, B., Kocsis, T., **Pabar, S. A.**, Varga, Cs., & Fekete, I. (2020). *Effect of detritus manipulation on different **organic matter decompositions** in temperate deciduous forest soils.* *Forests*, 11(6), 675-689. <https://doi.org/10.3390/f11060675>
3. Gorliczay, E., Boczonádi, I., Kiss, N. É., Tóth, F. A., **Pabar, S. A.**, Biró, B., Kovács, L. R., & Tamás, J. (2021). ***Microbiological effectivity** evaluation of new poultry farming organic waste recycling.* *Agriculture-Basel*, 11(7), Paper 683. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070683>

Folyóiratcikkek (Lektorált, nem IF-es)

4. **Pabar, S. A.**, Mónok, D., Kotroczó, Zs., & Biró, B. (2020). *Soil microbial parameters and synergies between bean growth and **microbial inoculums** as a dependence of five soils with different characteristics.* *Hungarian Agricultural Engineering*, 37, 27-33. <https://doi.org/10.17676/HAE.2020.37.27>
5. Kocsis, T., **Pabar, S. A.**, Ferschl, B., Kotroczó, Zs., Mohácsi-Farkas, Cs., & Biró, B. (2020). ***Biotic and abiotic risks** of soil biochar treatment for food safety and human health.* *Acta Universitatis Sapientiae Alimentaria*, 13(1), 69-84.
DOI: 10.2478/ausal-2020-0004
6. **Pabar, S. A.**, Mónok, D., Ferschl, B., Kotroczó, Zs., & Biró, B. (2020). *Néhány kritikus talaj-tulajdonság a **mikrobiális oltások** alkalmazásánál bokorbabbal tenyészedeny-kísérletben.* *Talajvédelem*, (1216-9560), 163-175.
7. **Pabar, S. A.**, Prettl, N., Kotroczó, Z., & Biró, B. (2023). *Módszertani fejlesztés **mikrobiális oltótörzsek** gyors hatásvizsgálatára két tesztnövényt.* *Journal of Central European Green Innovation*, 11(2), 59-67. <https://doi.org/10.33038/jcegi.4851>

Teljes terjedelmű konferencia közlemények:

8. Biró, B., Dudás, A., Wass-Matics, H., Kocsis, T., **Pabar, S. A.**, Tóth, E., Szalai, Z., Kotroczó, Zs. (2018): *Improved soil- and tomato quality by some **biofertilizer products**: 150 éves a debreceni agrároktatás. Jubileumi kötet.* *Agrártudományi Közlemények*, pp. 93-107, 15 p.
9. **Pabar S A**, Begum S R, Kotroczó Zs, Kardos L, Mónok D, Pribeli A, Biró B. *A saláta (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) növekedésére és a talajállapotra ható bioeffektív kezelések.* In: Füleky Gy (szerk.) XIV. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia kiadványa. Gödöllő, Magyarország, 018.04.05-2018.04.07. pp. 236-241.

ISBN:978-615-00-1645-0

10. **Pabar S A**, Begum S R, Mónok D, Pribeli A, Biró B. *A bioeffektív talajoltó kezelések hatása a talaj biológiai paramétereire saláta és bazsalikom tesztnövényekkel.*In: XXIV. Ifjúsági Tudományos Fórum. Keszthely, Magyarország, 2018.05.24. Keszthely: Pannon Egyetem Georgikon Kar, pp. 1-6.

ISBN:978-963-9639-90-4

11. Begum S R, **Pabar S A**, Kotroczó Zs, Kardos L, Erős-Honti Zs, Biró B. *Growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and soil microbial enzyme activities with biotic and abiotic soil treatments in pot experiments.* In: Füleky György (szerk.) XIV. Kárpát-Medencei

Környezettudományi Konferencia kiadványa. Gödöllő, Magyarország, 2018.04.05-07. pp. 284-288.

ISBN:978-615-00-1645-0

12. Kocsis T., **Pabar SA**, Kotroczó Zs, Domonkos M, Sheak RB, Kardos L, Biró B (2018): *Risk-management and food safety aspects of biochar and vermicompost applications*. In: András, I., Rajcsányi-Molnár, M. (szerk.) East - West cohesion II.: Strategical study volumes. Subotica: Čikoš Group, 2018. pp. 120-126.

ISBN:978-86-82621-30-0

13. **Pabar, S. A.**, Kotroczó, Zs., Mónok, D., Ferschl, B., Prettl, N., Péter, D., & Biró, B. (2021). *Korreláció vizsgálat a talaj szervesanyag minősége és kémiai, biológiai tulajdonságai között*. In D. Cseresznyés & Cs. Király (Eds.), XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Absztrakt kötet, pp. 187-192. Budapest, Hungary: ELTE Természettudományi Kar.

ISBN: 9789638221827.

14. Prettl, N., Kotroczó, Zs., **Pabar, S. A.**, Juhos, K., & Biró, B. (2021). *Startermútrágya hatás-vizsgálata kukoricában eltérő tápanyag-ellátottságú talajokon a talajbiológiai tulajdonságok tükrében*. In D. Cseresznyés & Cs. Király (Eds.), XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia [16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences]: Absztrakt kötet [Abstract book] (pp. 193-199). Budapest, Hungary: ELTE Természettudományi Kar.

ISBN 9789638221827.

15. Kotroczó, Zs., Juhos, K., **Pabar, S. A.**, Biró, B., Tóth, J. A., Prettl, N., Bódi, A., & Fekete, I. (2021). *A talajlégzés összetevőinek megoszlása egy agyagbemosódásos barna erdőtalajon*. In D. Cseresznyés & Cs. Király (Eds.), XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Absztrakt kötet, pp. 151-156. Budapest, Hungary: ELTE Természettudományi Kar.

ISBN: 9789638221827.

16. Prettl, N., Kotroczó, Zs., Priyo, A. N., **Pabar, S. A.**, Biró, B., & Juhos, K. (2022). *Mikrobiológiai terméshozzájárulás és foszfor műtrágya hatása a kukorica növekedésére, két különböző talajtípuson*. In I.-L. Szigyártó & A. Szikszai (Eds.), XVII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: Konferenciakötet (pp. 160-165). Cluj-Napoca, Romania: Ábel Kiadó.