



**Talajregeneratív módszerek rövidtávú hatása a talajegészség egyes indikátoraira
ökológiai gazdálkodásban**

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Tóth Eszter

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. Szalai Zita, CSc. ny. egyetemi docens MATE Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék Dr. Biró Borbála, DSc. prof. emerita egyetemi tanár MATE Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
.....
A témavezetők jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A mai kor emberének legnagyobb kihívása, hogy úgy termeljen elegendő élelmet a növekvő népesség számára, hogy közben csökkentse a mezőgazdaságból származó környezetterhelést, és ne merítse ki az erőforrásokat, mindezt úgy, hogy képes legyen alkalmazkodni a globális felmelegedés által okozott új körülményekhez. A műtrágyák, szintetikus növényvédőszeres nagyfokú alkalmazása és a talajok túlművelése világszerte talajromlást eredményezett. A talaj, ahonnan ételünk, vagyis az életünk származik, legfőbb kincsünk. Nem csak termelési közeg, hanem élőhely is, azoknak az élőlényeknek az élettere, amelyek részt vesznek a legfontosabb környezeti elemek körforgásában. A talaj megőrzése nem csak a rajta termelt élelem megtermelése szempontjából fontos számunkra, hanem az ökoszisztémában betöltött szerepe miatt is. Napjainkra ez a felismerés egyre inkább teret nyer és számos irányzat a talajok egészségének a fenntartását tűzi ki célul. Az ökológiai gazdálkodási elvek és gyakorlatok ezt a szempontot a leghatékonyabb módon veszik figyelembe. Az ökológiai módszerek alapelvei között a talajok termékenységének és egészségének a fenntartása, megóvása szerepel az egyik elsődleges célként. Számos kutatás számol be arról, hogy az ökológiailag művelt területek talajai magasabb humusztartalommal, nagyobb talajélettel és jobb szerkezettel rendelkeznek. Az is megfigyelhető azonban, hogy az ökológiai gazdaságok sem töltik be feltétlenül a hozzájuk fűzött reményeket a környezetre gyakorolt hatásuk tekintetében. A minősített gazdaságok megfelelnek az előírásoknak, például a szintetikus szerek kizárásával, azonban nem mindig fektetnek hangsúlyt a talaj minőségének és tulajdonságainak a lehetőség szerinti jobbítására. A legújabb irányzatok nem csak a termékenységre, de a talajok egészségének a fenntartására és fokozására is figyelemmel vannak. Az egyik ilyen irányzat a talajállapot-megőrző (conservation agriculture, CA) gyakorlat és terjed a talajmegújító (regeneratív agriculture, RA) mezőgazdasági gyakorlat is. Minkét módszer legfőbb pillére a *minimális talajművelés*, a *folyamatos talajtakarás* és a *növényi diverzitás növelése*.

Az ökológiai gazdálkodás körülményei között is nagy szükség lenne nagyobb hangsúlyt fektetni a *talaj egészségére*, azonban a talaj művelésének csökkentése és a folyamatos növényi borítás ökológiai gazdálkodásban nagyobb kihívást jelent, mint a konvencionális gazdálkodásban. A gyomszabályozás legfőbb eszköze ökológiai gazdálkodásban a talajok mechanikai művelése és a takarónövények terminálása is csak ilyen módon oldható meg, mivel gyomirtószeres használata nem engedélyezett. A technológiai váltás a konvencionális gazdálkodásról a talajkímélő művelésre rövidtávon termésnövekedést eredményezhet, ami egy erős akadályozó tényezőt jelent. A kímélő művelés és a takarónövények alkalmazásával kapcsolatban kevés információ áll rendelkezésre a gazdák számára. A felsoroltak megnehezítik a talajkonzerváló, megőrző és a megújító, regeneráló jó gyakorlatok elterjedését az ökológiai gazdálkodásban is. Fontos volna, hogy már a korai javuló hatású változások is észrevehetőek és kimutathatók legyenek a talajban, hogy a sok kihívás ellenére a gazdák is lássák a befektetett energiájuk eredményét és megerősítést nyerjenek az átállásban. Az agrár támogatási rendszerek jövője is az eredmény alapú finanszírozás lesz, amelynél szintén kulcsfontosságú, hogy megfelelő indikátorokkal korán kimutatható legyen a talajban végbemenő változás. A hagyományos talajvizsgálatok a tápanyag-ellátottságot előtérbe helyezve főleg a kémiai módszerekkel kimutatható adatok alapján döntenek a talajművelési irányokról. Ezek a vizsgálatok hasznosak a termésmennyiség növeléséhez, de ha a talajt csak ennek fényében vizsgáljuk az hosszabb távon fizikai és biológiai talajromláshoz vezethet. A talajegészség koncepciója szerint a talajt úgy kell tekintenünk, mint élő környezeti elemet és ahhoz, hogy megvizsgáljuk meg kell érteni annak a fizikai-kémiai tulajdonságai mellett a biológiai összetételét és működőképességét is. A *talajbiológiai paraméterek* általában érzékenyebben reagálnak a különböző talajhasználatból származó beavatkozásokra, ezért ezek megfelelő

indikátorok lehetnek a talaj változásainak korai, és a tartós, stabilan megmaradó bemutatására is.

A leírtak alapján a doktori munkában a következő kérdésekre kerestük a választ:

- i) A talajregeneratív módszerek közül a kímélő talajművelés, a takarónövények alkalmazása és a növényi diverzitás növelése rövid távon, 2-5 évi időtartamban is eredményeznek-e pozitív változást a talajminőség és talajegészség mérhető paramétereiben az ökológiai gazdálkodás keretei között, vagy az arra való áttérés során?
- ii) A talajregeneratív módszerek hatását és a vizsgált indikátorok eredményeit hogyan befolyásolják a különböző talajok fizikai-kémiai tulajdonságai (textúra, pH, szerves anyag)?
- iii) Az alkalmazott mérési módszerek közül vannak-e olyan - akár a gazdák által is könnyen mérhető - indikátorok, amelyek már rövid távon is kimutatják a talajban végbemenő változásokat a talajregeneratív módszerek hatására?
- iv) Vajon a gazdák tapasztalatai alapján melyek a talajregeneratív módszerek használatának előnyei, esetleg nehezítő tényezői?
- v) A felhasználható és általunk alkalmazott takarónövény fajok milyen kedvező hatást fejtenek ki a talaj-növény-tulajdonságokra a mért paraméterek alapján?

A jelzett tudományos kérdések alapján az alábbi 4 kutatási célt tűztük ki:

- Elő kutatásként a Soroksári kísérleti üzem (MATE) ökológiai gazdálkodás ágazatának különböző művelési múltú területeinek összehasonlítását azzal a céllal, hogy segítséget kapjunk a fő kutatási irányok kijelöléséhez és a lehetséges, alkalmazható indikátorok megválasztásához.
- Egy rövidtávú szabadföldi kísérletben a regeneratív talajmódszerek (kímélő talajművelés és takarónövények alkalmazásának) hatás-vizsgálatát, hogy összehasonlítsuk azok eredményeit a hagyományos műveléssel ökológiai gazdálkodásban.
- Egy tenyészedényes kísérlet beállítását, amely során a szabadföldi körülmények között alkalmazott takarónövények hatását szabályozott módon megvizsgálva tanulmányozzuk és igazoljuk a növény-mikroba kapcsolatok megnyilvánulását, jelentőségét.
- Egy on-farm kutatást, amely során négy magyarországi ökológiai gazdálkodónál, a talajregeneratív módszerek hatását vizsgáljuk a talajegészség indikátoraira, és összehasonlítjuk azt konvencionális gazdaságok hagyományos szántásra alapozott művelésű tábláival; a kutatást kiegészítve a gazdálkodók tapasztalatainak megismerésével.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az előkutatás a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában zajlott az Ökológiai Gazdálkodási Ágazatban. 6 különböző művelési múltú táblát hasonlítottunk össze. A területek eltértek a legutolsó talajbolygatástól eltelt idő és a rajtuk termesztett kultúrák tekintetében. A 6 terület közül az 'intenzíven bolygatott' területet minden évben művelték, a 'vetett gyepterület' két éve, az 'élő pillangós' két éve, a 'rekultivációs gyepterület' négy a 'fákkal elegyes kaszáló' 8 éve, a 'mezővédő sövény' pedig 20 éve állt bolygatatlan állapotban. A különböző területekből átlagmintát vettünk 40 mintavételi pont homogenizálásával.

A rövidtávú szántóföldi kísérlet 2018 és 2020 között szintén a MATE Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában zajlott az Ökológiai Gazdálkodási Ágazatban. A kísérleti helyszín 2820 m² nagyságú területet foglal magában, ahol háromféle talajművelést alkalmazását vizsgáltuk, úgy mint:

- 1) szántásra alapozott hagyományos művelést, a kísérleti gazdaságban elterjedt technikát (**SZ**),
- 2) talajkímélő művelést, amely ez esetben a forgatás elhagyását jelentette (**K**) és
- 3) a forgatás nélküli művelést takarónövények alkalmazásával kombinálva (**KT**).

A kísérleti parcellák sávosan, random elrendezésben lettek kialakítva. Minden kezelés két sávban valósult meg amelyeket további három részre osztottunk a talajmintavételezéshez és ezeket is külön ismétlésként kezeltük. Egy ismétlés 156 m² volt, ez azt jelenti, hogy minden kezeléshez 6 ismétlés tartozott.

A tenyészedenyes kísérlet a MATE Zöltség- és Gombatermesztési Tanszékéhez tartozó üvegházban került beállításra a Budai Arborétum területén. A kísérletet 2020 októberében állítottuk be. Az öt növényfajt: etióp mustárt (*Brassica carinata*), facéliát (*Phacelia tanacetifolia*), homoki zabot (*Avena strigosa*), bíbor bükkönyt (*Vicia benghalensis*), lóbabot (*Vicia faba*) az egyetem Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságából származó humuszos homoktalajába vetettük 5000 g-os műanyag edényekbe. Mindegyik edénybe 10 db növényt az egyes fajokból neveltünk nyolc héten keresztül négy ismétlésben. Az egyes fajokat tartalmazó edényeken kívül az öt növényből álló keveréket is vetettünk, annak egy arbuszkuláris mikorrhiza (AM) oltóanyaggal (Danuba Kft) oltott változatát is (oltott keverék) üvegházi neveléssel (19 °C nappal, 10 °C éjszaka, páratartalom 52 %). 8 hét után a kísérletet talaj- és növényvizsgálatokkal bontottuk.

A kímélő talajművelés és az egyéb talajregeneráló technikák ökológiai gazdálkodásban alkalmazható lehetőségeinek feltárása érdekében 4 ökológiai gazdaságban vizsgáltunk különböző táblákat. Három gazdaságnál a szomszédos konvencionális gazdaság táblájából is mintát vettünk, amely kontrollként szolgált. A kutatás 2020 és 2021 között zajlott és két mintavételi időpontot foglalt magában (2020 ősze, 2021 tavasza). A bevont gazdaságok helyszínei:

- Kömlőd (Komárom-Esztergom vármegye),
- Szár (Fejér vármegye),
- Bugac (Bács-Kiskun vármegye) és
- Füzesgyarmat (Békés vármegye).

A vizsgált táblák talajainak legfőbb jellemzői az **1. táblázatban** láthatók.

A talajmintavétel két időpontban történt 2020 őszen és 2021 tavaszán. A vizsgált táblákat négy részre osztottuk és minden részből 8 mintát vettünk, amelyeket homogenizáltunk így a négy részen belül átlagmintákat képeztünk. Minden tábláról négy ismétlés származott.

A talajmintákat minden szabadföldi kutatásnál 0-20 cm mélyből vettük. A mikroszkópos vizsgálatokhoz 10 cm mélyről származtak a minták. A talajminták egy részét hűtőben 5 °C-on tároltuk az enzimaktivitás, a nematóda denzitás és a mikroszkópos baktériumszámolás elvégzéséig. A biológiai vizsgálatokat a mintavétel után 1 héten belül elvégeztük. A talajminták egy részét légszárazra szárítottuk a fizikai-kémiai vizsgálatokhoz, amik a. MATE Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék laboratóriumában történtek.

A kutatásokban mért fizikai-kémiai és biológiai *vizsgálati módszerek* (paraméterek) a **2. táblázatban** kerültek leírásra, ahol jelöltük azt is, hogy melyik kutatásban melyik vizsgálatot végeztük el.

A vizsgált gazdaságok tábláiból vett talajminták elemzésén túl semi-quantitatív módszerrel interjút készítettünk a gazdaságok tulajdonosaival: a strukturált kérdőív kérdezése során a felmerülő egyéb információkat is lejegyeztük.

1. táblázat. A különböző települések tábláinak rövid jellemzése

Kömlöd				
	Öko-sekély1	Konv-szántott	Konv-sekély	Öko-sekély2
Fizikai féleség	vályog	vályog	homok	homok
öko/konv	3 éve öko	konvencionális	konvencionális	2 éve öko
Művelési rendszer	5 éve sekély, fogatás nélküli	Hagyományos szántásra alapozott	5 éve sekély, fogatás nélküli művelés	5 éve sekély, fogatás nélküli művelés
Takarónövény	Pillangós rávetés	-	Zöldtrágya	Pillangós alávetés
Szár				
	Öko-sekély	Konv-szántott	Öko-szántott	Extenzív
Fizikai féleség	homok	homok	vályog	Homokos vályog
öko/konv	5 éve öko	konvencionális	5 éve öko	5 éve öko
Művelési rendszer	5 éve sekély, fogatás nélküli	Hagyományos szántásos	5 éve sekély, fogatás nélküli	5 éve sekély, fogatás nélküli
Takarónövény	takarónövény	-	-	Extenzív, bíborhere
Füzesgyarmat				
	Öko-forgnélkül1	Konv-szántott	Öko-forgnélkül2	Konv-forgnélkül
Fizikai féleség	agyagos vályog	agyagos vályog	agyagos vályog	agyagos vályog
öko/konv	20 éve öko	konvencionális	20 éve öko	konvencionális
Művelési rendszer	8 éve sekély, fogatás nélküli	Hagyományos szántásos	8 éve sekély, fogatás nélküli	fogatás nélküli művelés
Takarónövény	-	-	-	-
Bugac				
	Sekély-legel	Sekély1	Sekély2	Sekély-taknöv
Fizikai féleség	homokos vályog	homokos vályog	homok	homok
öko/konv	18 éve öko	18 éve öko	18 éve öko	18 éve öko
Művelési rendszer	Sekély 6 cm	Sekély 6 cm	Sekély 6 cm	Sekély 6 cm
Takarónövény	Állatokkal legeltetett	-	-	takarónövény

Az adatok feldolgozásához IBM SPSS Statistics ver. 26 statisztikai programot használtunk. A kutatásokban a különböző kezelések és összehasonlítandó területek statisztikai összehasonlításához több tényezős varianciaanalízist (MANOVA) használtunk, szignifikáns különbség esetén egytényezős varianciaanalízissel elemeztük tovább az adatokat (ANOVA). Az adatok szóráshomogenitásának ellenőrzését Leneve's tesztel végeztük és a hibatagok normalitását Sharpio-Wilk vagy Kolmogorov-Smilnov teszt útján ellenőriztük. A kezelések különbségét Post-hock Tukey vagy Games-Howel tesztel végeztük. A szignifikancia szint 95%-os volt ($P < 0,05$). A különböző paraméterek között az összefüggéseket Pearson-féle korrelációs együtthatóval vizsgáltuk. A szignifikancia szint 95%-os volt ($P < 0,05$).

A talajtulajdonságok és a talajhasználat aggregátumstabilitásra mint válaszváltozóra gyakorolt hatását ún. „random forest” klasszifikációval vizsgáltuk, azokat az eredményeket vettük figyelembe, amelyeknél a pontosság legalább 80% volt a tesztelő adatsoron.

2.táblázat. Az alkalmazott talajvizsgálatok rövid leírása, megjelölve, hogy melyik kutatásban alkalmaztuk. A különböző számok a következőket jelölik: 1 = Elő kutatás, 2 = Szabadföldi kísérlet, 3 = tenyészedényes kísérlet, 4 = on-farm kísérlet.

Vizsgált paraméterek ⁺	A vizsgálatok módszere, leírása ⁺	kutatás
Szervesanyag tartalom, SOM	Hargitai, 1963 ⁺	1,2,3,4
Humusz minőség (Hargitai-féle)	A két oldószeres vizsgálati módszerben a talajból 0,5 % NaOH-os és 1 % NaF-os kivonatot készítettünk (Hargitai 1963)	4
Humusz minőség E4/E6	A vizsgálat a humuszextraktumok fényelnyelése 465 és 665 nm hullámhosszon (Kononova, 1961).	4
Nátrium NO₃, Ammónium -NH₄	Szalicilát extrakciós módszer (Kempers & Zweers, 1986). Az NH ₄ -N és NO ₃ -N mennyiségét spektrofotométerrel határozzuk meg 655 °C-on és 410 nm hullámhosszon.	1,2,3
Foszfor	ammónium-laktátos kivonás 438 nm hullámhosszon (Egnér és mtsai, 1960),	1
Kálium	Ammónium-laktátos kivonás 438 nm hullámhosszon (Egnér és mtsai, 1960),	1
Labilis szén mérés (POXC)	KMnO ₄ oxidációs módszer (Weil et al., 2003)	2,4
Nedvességtartalom	Fülek, 2011	1,2,3,4
Aggregátum stabilitás Index (ASI)	SLAKES okostelefonos alkalmazással (Fajardo és McBratney, 2016)	4
Dehidrogenáz-enzimaktivitás (DHA)	A DHA esetében 2,3,5 TTC (trifenil-tetrazólium-klorid) módszert alkalmaztunk (Veres et al., 2013). A DHA-t spektrofotométerrel mértük 546 nm hullámhosszon.	1,2,3,4
Fluoreszein-diacetát-hidrolízises enzimaktivitás (FDA)	Schnürer és Roswall (1982) által meghatározott, FDA (fluoreszein-diacetát) vizsgálatot alkalmaztuk (Villányi et al. 2006) validálása szerint, 490 nm hullámhosszon mérve	1,2,3
Glomalin tartalom (GRSP)	A könnyen kinyerhető glomallinnal összefüggő fehérje méréshez Bradford reagenst használtunk, 562-es hullámhosszon mérve Stoscheck (1990) szerint.	2,3,4
Szabadon élő nematóda denzitás	Baermann tölcseres módszer mikroszkópos vizsgálattal Szakálas et al. (2015) módszere alapján.	4
Baktérium mennyiség	A baktérium sejtek számolása fénymikroszkóppal	1,2,4
Mikroszkópikus gomba index	Index képzése a gomba fonalak fénymikroszkópos számolása alapján	1

Megjegyzés: ⁺ A módszerek irodalmi hivatkozásai a PhD dolgozat irodalomjegyzékében található.

3. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

3.1. A szabadföldi kísérlet eredményei

A talajkémiai vizsgálatok (H%, POXC, pH, NO₃, NH₄) nem mutattak ki szignifikáns különbséget a kezelések között 2 év után. A humusztartalom, amely a talajgazdálkodási módszerek értékelésére és a legfontosabb talajegészség indikátor megbízható mutatónak bizonyult a különböző talajkímélő művelések pozitív hatásának kimutatására, amit számos irodalom is alátámasztott (pl. Juhos et al., 2024.). Azonban ezek a kutatások általában hosszútávon mutatnak ki változást a szervesanyag tartalom mennyiségében, mivel a talaj szerves anyaga relatíve lassan változik. Legalább 3-tól 5 évre van szükség ahhoz, hogy szignifikáns változás jelenjen meg. Ez lehet az oka annak, hogy két év alatt még nem változott

kimutathatóan a humusztartalom. A pH szintén egy olyan talajegészség indikátor, amely lassan változik a talajkezelés megváltoztatásának hatására. Esetünkben sem sikerült kimutatni szignifikáns különbséget. A talaj szerves anyagának labilis készlete ezekkel szemben gyorsan tud reagálni a talajt érő behatásokra, ezért alkalmas lehet a talajkímélő művelés hatásának kimutatására már néhány év után is (Weil et al. 2003). Esetünkben azonban szignifikáns különbséget a három talajkezelés között a labilis szén-mérése sem mutatott.

A *biológiai mutatók* között a talajenzim-aktivitásokban ugyanakkor szignifikáns különbség adódott (**3. táblázat**). A dehidrogenáz (DHA) enzimaktivitás érzékenynek bizonyult a különböző talajkezelések (szántásos-SZ, kímélő-K és kímélő takarónövényes-KT) közti különbségekre. a takarónövényes parcellák talajában. A takarónövények élő gyökerükkel fokozzák a talaj biológiai aktivitását mind a DHA mind pedig a másik enzim a Fluorescein-diacetát (FDA) esetében. Egy 2023-as meta-analízis (Wen et al.) szerint a talajkímélő művelés szignifikánsan pozitív hatású a talajenzimek aktivitására. A dehidrogenáz enzim a 6. leggyakoribb enzim, amelyet ilyen kutatásokban mérni szoktak. Az FDA enzimet kevesebb kutatásban alkalmazták, mivel ez nem specifikus és a talajok összes, átlagos lebontó-képességét (katabolikus aktivitását) mutathatja meg. Szostek et al. (2022) egy 2 éves kísérletben is szignifikáns különbséget mutatott ki a DHA enzimet vizsgálva, amelyet végül mi is alkalmaztunk a további vizsgálataink során. A *glomalin mérés* egyik mintavételi időpontban sem mutatott szignifikáns eltérést a különböző talajkezelések hatására Koberski et al. (2020) véleményével ellentétben. A glomalin leginkább a mikorrhiza gombák mennyiségével és a növényi gyöker-kolonizációval van összefüggésben, amit befolyásol még a talajok szerkezete, agyagásvány-tartalma, az organominerális komplexek. Homokos szerkezetű talajokban a glomalin-tartalom nehezebben változik. A mikotróf növények gyakoribb alkalmazása a takarónövényekben is az egyik módszer lehet a glomalin-mennyiségek és így közvetve a talajok szerkezetének a javulásához.

3. táblázat A különböző talajparaméterek alakulása a két mintavételi évben. SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövényvel, sd-szórás. A pirossal jelölt értékeknel a különböző kisbetűk a szignifikáns eltérést jelzik ($p < 0,05$).

Talajparaméterek évjárat		Fizikai-kémiai tulajdonságok						Talajbiológiai tulajdonságok					
		nedvesség- tartalom %		-NO ₃ mg/kg		-NH ₄ mg/kg		DHA TPFµg/g		FDA µg/g		GRSP mg/g	
		átlag	sd	átlag	sd	átlag	sd	átlag	sd	átlag	sd	átlag	sd
2019	SZ	8,67	1,11	7,43	2,41	7,01	0,45	3,12 a	0,50	12,14	4,18	1,12	0,04
	K	7,72	0,87	6,40	0,88	6,22	0,32	2,59 a	0,90	2,59	0,90	1,11	0,03
	TK	7,47	0,98	5,69	0,66	6,74	0,74	4,60 b	0,44	11,68	5,17	1,04	0,09
2020	SZ	7,47	1,87	4,08	0,12	6,31	0,41	2,07	0,92	12,14	4,18	0,90	0,04
	K	6,57	0,91	5,32	0,54	5,32	0,54	1,56	1,10	12,43	3,23	0,89	0,04
	KT	6,99	1,41	5,98	2,67	5,96	0,57	1,92	1,49	11,68	5,17	0,90	0,04

3.2. A tenyészedényes kísérlet eredményei

A különböző növényfajok eltérő hatással voltak a talaj enzimaktivitására, több növényfaj gyökerének jelenléte fokozta a talaj enzimaktivitását, azonban egyik eltérés sem volt szignifikáns (1. ábra), ahol a homoki zab, lóbab, és a keverék jelentősen magasabb értéket vett fel. Az élő gyökerek jelenléte fokozza az enzimaktivitást azáltal, hogy azok gyökérváladékai fokozzák a mikrobák aktivitását. A pillangós növények az irodalmak alapján pozitívabb hatással vannak az enzimaktivitásra összehasonlítva más növényfajokkal, a nitrogén-kötő

képességük és a jobb C/N arányú növényi maradványok miatt is. A lóbab pozitív hatását szabadföldön is kimutatták az enzimaktivitásra, magasabb dehidrogenáz, proteáz, ureáz aktivitást mértek a lóbabnál, mint a tavaszi búzánál (Siczek et al., 2018). Az enzimaktivitást (foszfatáz), a sok fajtából álló takarónövénykeverék növelte jelentősen, pl. a facélia, zab, bükköny, retek, hajdina (Reynolds et al., 2017).

A legmagasabb *glomalin* a bíborbükkönynél mértük. A glomalin a mikorrhiza gombák által kibocsátott fehérje összefüggésben van a mikorrhiza jelenlét mértékével. Takarónövények használatánál a növényfajnak meghatározó szerepe van a következő főnövény mikorrhiza kolonizáltságában.

A lóbab termelte a legnagyobb biomasszát és gyökértömeget és a nitrát tartalom alapján ehhez a legtöbb tápanyagot használta fel, tehát kísérletünkben rövidtávon ez a növény mutatta a legnagyobb tápanyagvisszatartási potenciált, amely a leginkább képes a nitrogén kimosódás csökkentésére. A talaj enzimaktivitására a DHA eredményei szerint pozitív hatással volt, amelyet Siczek et al. (2018) kutatása is alátámasztott. A bíborbükköny kevés gyökértömeggel és biomasszával, közepes nitrát felvétellel a glomalinra és FDA enzimaktivitásra volt pozitív hatással. A homoki zab kis gyökértömeg és biomassza előállításával, közepes nitrát felvétellel és a legkevesebb ammónium felvétellel a DHA-ra pozitív hatással volt, azonban a glomalin tartalomra alacsony értéket hozott. Az etióp mustár rendkívül alacsony gyökértömeget és biomasszát képezett és ehhez mérten a legkevesebb nitrátot vette fel. Mindkét enzimaktivitás mérés alapján a legalacsonyabb értéket hozta, még a kontrollhoz képest is. A keverékek (AM gomba-oltott és oltatlan) közepes gyökértömeg és a biomasszával, sok nitrát felvétellel a glomalin tartalomra nem voltak hatással, azonban az enzimaktivitás mérések szerint pozitív eredményeket értek el a kontrollhoz képest.

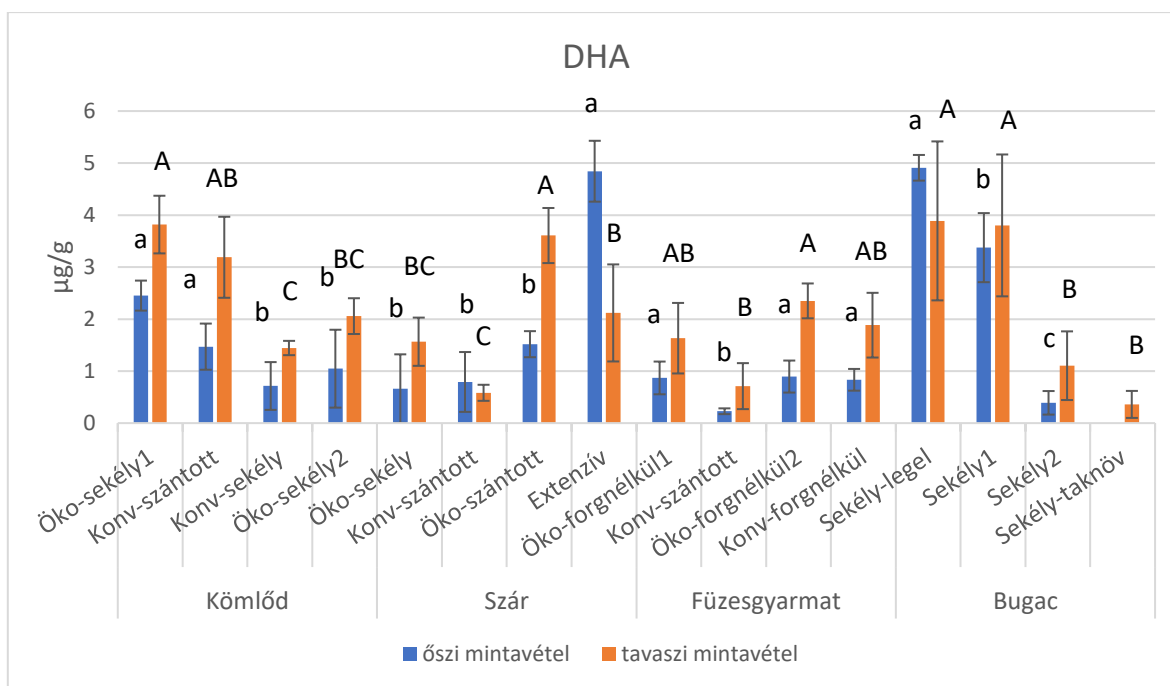
3.3. On-farm kísérlet eredményei

Kevés on-farm kutatás található a talajregeneratív módszerek vizsgálatáról, pedig ez a fajta kutatás lehetővé teszik, hogy a talajt valóságos gazdálkodói körülmények között tudjuk vizsgálni. A beállított parcellás kísérletek, bár csökkentik a zavaró tényezők számát, általában túlságosan leegyszerűsítik a rendszer bonyolultságát. Azonban a működő gazdaságok nem követnek szigorú gazdálkodási kategóriákat, hanem évről évre módosítják a talajművelést a termés és az elővetemény, a talaj- és időjárási viszonyoktól, a szármaradványok mennyiségétől és a gyomnyomástól függően.

A négy település gazdaságainak táblái talajtextúra tekintetében diverz képet mutatnak (10. táblázat). Gazdaságon belül is rendkívüli heterogenitás volt megfigyelhető az Arany-féle kötöttség és a tápanyag ellátottság alapján. A különböző táblákon mért adatok településen belül elemzett eredményei, valamint a korrelációs együtthatók segítenek feltárni az indikátorok tulajdonágait a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok és a talajtextúra szempontjából.

Ha az összes települést megnézzük, akkor azt a tendenciát láthatjuk, hogy a településeken belül mindig alacsonyabb szervesanyag tartalmat mértünk az alacsonyabb Arany-féle kötöttségi számmal rendelkező talajokban. Ebből láthatjuk, hogy *a szervesanyag mennyiséget jobban befolyásolta a talaj fizikai félesége, mint az alkalmazott talajgazdálkodási gyakorlat*. Azonban hosszabb távon befolyásolhatja a megválasztott talajgazdálkodási forma, amely meg is mutatkozott a Füzesgyarmati táblák talajaiban. Itt az összes terület egy talajtípusba tartozott, de csak az a terület mutatott szignifikánsan alacsonyabb SOM-ot, amelyen mélyszántást alkalmaznak. Ennek megfelelően a kímélő művelés hatása hosszabb távon (8 év) már megmutatkozott a szervesanyag tartalom alakulásában is. Több paraméter (nedvesség tartalom, POXC, GRSP) pozitívan korrelált a SOM-mal, amelyekre szintén igaz volt, az állítás miszerint a talaj alaptulajdonsága befolyásolta alakulásukat, azonban kevésbé, mint ahogy azt a szervesanyag tartalomnál tapasztaltuk, mivel attól függetlenül is mutattak

szignifikáns eltéréseket táblák között. A DHA-ra is igaz volt ez az állítás, azonban már nagyobb érzékenységgel mutatott különbséget a talajgazdálkodási gyakorlatok között. Kömlődnél az Öko-sekély1 és Konv-szántott között megfigyelhető volt jelentősebb eltérés, valamint a Konv.sekély és az Öko-sekély2 táblák között is, ahol a szervesanyag tartalom is megegyezett. Száron pedig az Öko-sekély és Konv-szántott között találtunk különbséget a tavaszi mintavétel alapján és az Öko-szántott és Extenzív táblák között, ahol az Extenzív az őszi mintavétel alapján szignifikánsan magasabb értéket vett fel, pedig szervesanyag tartalma és kötöttsége (AK) alacsonyabb volt. Tehát ebben az esetben meghatározóbb volt a közelmúltban alkalmazott talajgazdálkodási gyakorlat az enzิมaktivitás alakulásában.

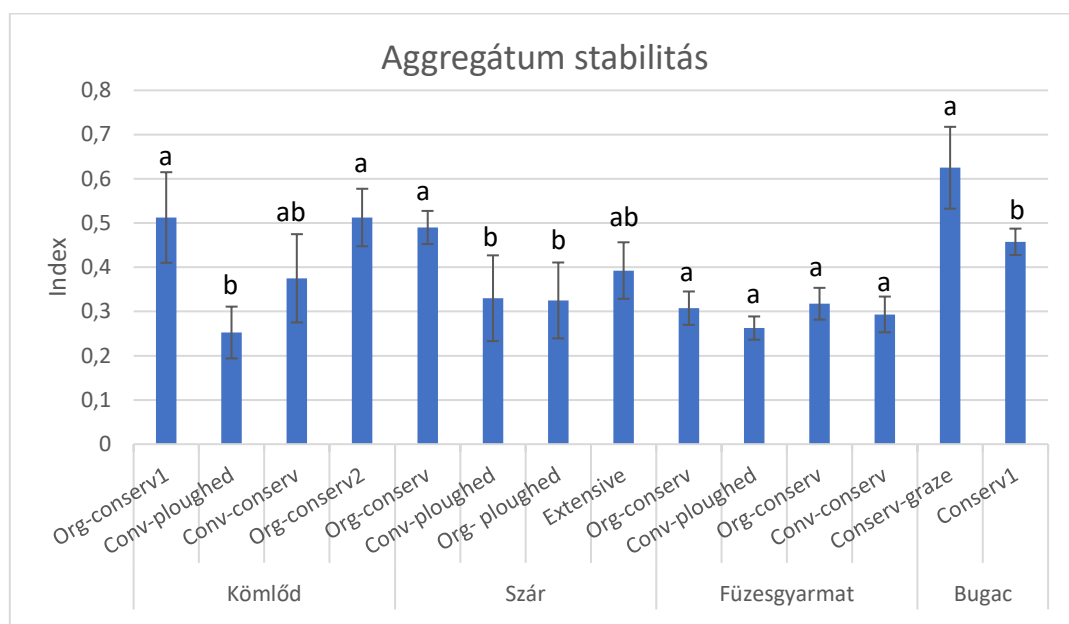


3.ábra A dehidrogenáz enzimaktivitás (DHA) alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020-2021). A különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$), a különböző nagybetűk pedig a második mintavételi időpontban ($p < 0,05$).

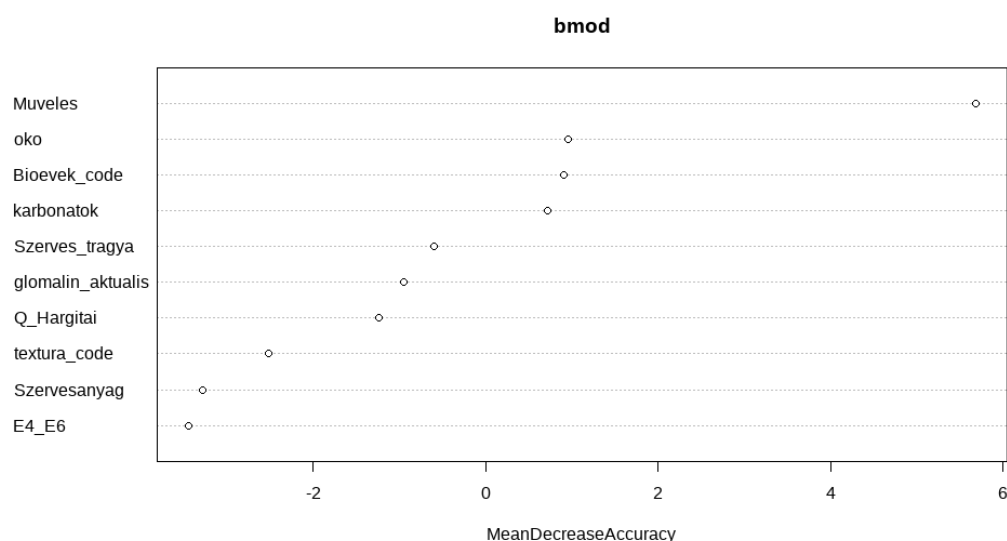
Az aggregátum stabilitás a többi paraméterhez viszonyítva eltérő trendet mutatott (4. ábra). Nagy eltérést találtunk a kímélő műveléses és szántásos területek között, amely Kömlődnél szignifikánsan alacsony értéket adott a Konv-szántott területen. Szár esetében a két szántásos művelésű terület (Konv-szántott, Öko-szántott) mutatta a legalacsonyabb értékeket, amely az Öko-sekély-től szignifikánsan eltért. Fűzesgyarmatnál is a hagyományos szántásra alapozott művelésű terület mutatta a legalacsonyabb értéket. Amelyből arra tudunk következtetni, hogy a talaj fizikai félesége kevésbé befolyásolta az aggregátum stabilitás eredményeit, mint a többi paraméter alakulását. Ez összhangban van Williams et. al (2020) kutatásával. A korreláció-analízis is visszatükrözte a különbözőségeket a többi paraméterhez viszonyítva, ugyanis ez az indikátor volt, amely a legkevésbé mutatott korrelációt a többi paraméterrel.

Az aggregátum-stabilitás esetében *Random-forest statisztikai vizsgálatot* is végeztünk. Kérdésünk az volt, hogy az agrotechnikai elemeknek, a talajtípusból adódó talajtulajdonságoknak és a menedzsmentből eredő talajbiológiai tényezőnek milyen a hozzájárulása a talajszerkezet kialakulásához. Az ún. változófontosság (variable importance) alapján szintén az mutatkozott meg, hogy az aggregátum-stabilitást elsősorban a művelés

intenzitása és az ökológiai gazdálkodásra való átállás határozta meg, míg a talajtulajdonságok jelentősége jóval kisebbnek mutatkozott (5. ábra).



4. ábra. Az aggregátum stabilitás index (ASI) alakulása a különböző települések tábláin. A különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül ($p < 0,05$). (On-farm kísérlet, 2021).



5. ábra Random-forest modell az aggregátum satbilitás alakulását befolyásoló tényezőkről

A korrelációs vizsgálatok során, ha a két mintavételi időpontban vett paraméterek korreláltak önmagukkal akkor arra következtethetünk, hogy konzekvens adatokat képesek nyújtani. Ez alapján elmondható, hogy a nedvességtartalom, a DHA, a glomalin tartalom és a nematóda denzitás két mintavétel alapján hasonló eredményeket szolgáltatott. A korrelációs vizsgálatból még kiemelendő, hogy a nedvesség tartalom volt az, amely a legtöbb paraméterrel összefüggést mutatott, ezt pedig a DHA követte. Az aggregátum stabilitással kizárólag csak a nematóda denzitás mutatott szignifikáns korrelációt.

Az *on-farm kutatás* keretein belül vizsgált táblák közül külön is elemeztünk három olyan táblapárost, amelyek egymás szomszédságában fekszenek és az egyik táblán konvencionális gazdálkodás folyik hagyományos műveléssel, a másikon pedig ökológiai gazdálkodás talajregeneratív módszerekkel. Ez lehetőséget adott arra, hogy a két különböző talajgazdálkodási rendszert összehasonlítsuk. A könnyebbség kedvéért a két gazdálkodási rendszert KONV (konvencionális gazdálkodás, hagyományos, szántásos műveléssel) és ÖKO (ökológiaigazdálkodás talajregeneratív módszerekkel) névvel fogom nevezni a továbbiakban.

Az összesítő táblázaton megfigyelhetjük, hogy mind a három településen mértünk szignifikánsan magasabb értéket az ÖKO táblákon négy különböző indikátor szerint is (4. táblázat). Ezek az indikátorok eltértek településenként. Azonban elmondható, hogy a Hargitai féle humusz mindőség, a pH, a glomalin tartalom és a nematóda denzitás egy helyszínen, az aggregátum stabilitás, a nedvességtartalom és a labilis szén két helyszínen, a DHA pedig három helyszínen mutatott szignifikáns eltérést. Meg kell említeni azt is, hogy a legtöbb paraméter, ha nem is szignifikánsan, de magasabb értékeket vett fel az ÖKO táblákon, amelyek szintén jelölve vannak a **4. táblázatban**.

4. táblázat. A konvencionális hagyományos szántásra alapozott gazdálkodás és az Ökológiai talajregeneratív gazdálkodás összehasonlítása három település tábláin.

Talaj paraméterek	Kömlőd				Szár				Füzesgyarmat			
	KONV		ÖKO		KONV		ÖKO		KONV		ÖKO	
	átlag	±SD	átlag	±SD	átlag	±SD	átlag	±SD	átlag	±SD	átlag	±SD
SOM (m/m%)	3.85	0.22	4.41	0.56	1.34	0.61	1.44	0.32	2,14	0.47	2.41	0.87
Q	6,07	0.97	6.35	0.52	1.93	1,02	3,14	1.79	1.00	0.23	2,01	0.77
E4/E6	7,11	0.26	7,29	0.27	6,14	0.49	6.33	0.48	4.79	0.29	4.81	0.30
pH	7.325	0.15	7.225	0.05	6.78	0.93	7,03	0.69	5.95	0.13	6.63	0.378
ASI	0.25	0.06	0.51	0.10	0.33	0.10	0.49	0.04	0.26	0.03	0.31	0.04
Nedv. tart.1 (m/m%)	20.22	0.19	20.33	0.18	12.69	1.56	13.74	0.88	22.39	1.63	22.78	0.25
Nedv. tart.2 (m/m%)	14.60	0.49	14.41	0.48	7.85	0.68	10,21	0.83	21.57	0.45	23.27	0.73
POXC1 (mg kg ⁻¹)	615.38	34.71	574.49	27.61	314.09	129.50	263.43	98.78	485.62	59.52	478.51	40.48
POXC 2 (mg kg ⁻¹)	650.04	172.93	1030.42	161.57	314.09	95.98	238.55	37.40	228.77	29.37	410.96	121.03
GRSP ősz (mg g ⁻¹)	0.96	0.06	1,01	0.09	0.81	0.13	0.83	0.06	1,22	0.05	1,13	0.08
GRSP (mg g ⁻¹)	0.97	0.08	1,12	0.08	0.65	0.18	0.66	0.09	0.98	0.03	0.80	0.13
DHA1(TPFμg g ⁻¹)	1.47	0.44	2.45	0.29	0.79	0.58	0.63	0.69	0.23	0.06	0.87	0.31
DHA2 (TPFμg g ⁻¹)	3,19	0.78	3.82	0.55	0.51	0.15	1.57	0.46	0.92	0.44	1.63	0.68
Nemat1 (db/25g talaj)	552.33	86.75	687.75	114.15	540.67	49.66	611.00	122.56	323.50	67.34	453.00	101.47
Nemat2 (db/25g talaj)	220.25	81.35	427.75	172.66	262.00	67.74	481.67	52.54				

A sötét piros háttérű adatok szignifikáns eltérést mutatnak. A halványított barnás háttérű adatok esetében magasabb átlag érték mutatkozott az ÖKO táblán. KONV - konvencionális gazdálkodás, hagyományos, szántásos műveléssel, ÖKO -ökológiai gazdálkodás talajregeneratív módszerekkel.

Öt év sekély művelés, átállás ökológiai gazdálkodásra és kettős termesztés alkalmazása, már rövid-távon ki tudott mutatni változást az érzékenyebb indikátorokban. Szépen kirajzolódik, hogy az irodalmak alapján érzékenyebbnek tartott indikátorok jeleztek esetünkben

is szignifikáns különbségeket (Pl. Weil et al., 2003). A szakirodalom ezzel kapcsolatban számos esetben kimutatta a talajregeneráló technikák pozitív hatásait, de legtöbbször csak hosszú-távú kísérletekben (Kobierski et al., 2020; Littrell et al., 2021; Cooper et al., 2016). Csak néhány rövidtávú kísérlet van, amely már néhány év után is ki tudott mutatni különbséget bizonyos paraméterekben, mint például az enzimaktivitásban, mikrobiális biomasszában, aggregátum stabilitásban (Pittarello et al., 2021).

Számos tanulmány arról számolt be, hogy a SOM viszonylag lassan változik, gyakran 3-10 évbe telik, mielőtt jelentős különbségek kimutathatók (Pl. Cardoso et al., 2013). Ezek alapján Kömlődön és Száron valószínűleg nem volt elég idő a szignifikáns különbségek kialakulásához. Ez az eredmény más tanulmányban is megfigyelhető volt (Puerta et al., 2018). Füzesgyarmaton az ÖKO táblát 20 évvel ezelőtt állították át ökológiai gazdálkodásra, és szintén nem mutatott szignifikáns eltérést a KONV-hoz képest. Ennek oka az lehet, hogy a KONV parcella is rendszeresen kapott istálló trágyát. Mivel az istálló trágya növelheti a SOM-ot (Mäder et al., 2002), ez csökkenthette a különbséget az ÖKO és a KONV között.

Az *E4/E6 arányt* fontos mérőszámának tekintik a huminsav jellemzéséhez és érzékenynek tartják a gazdálkodási gyakorlatok hatására is. Az alacsonyabb E4/E6 arány nagyobb stabilitást mutatott a humusz frakciókban a talajregeneratív módszerek hatására Juhos et al. (2024) hosszú távú vizsgálataiban is. A mi kísérletünkben Kömlődön és Szárnál a 3 és 5 éves konzerváló talajművelés és a biogazdálkodási gyakorlat nem volt elegendő az E4/E6 arány változásához. A *Hargitai féle humuszminőségi index* szerint azonban a 20 évvel ezelőtt ökológiai gazdálkodásra átállított Füzesgyarmaton szignifikánsan magasabb értéket találtunk az ORG szántóföldön. Mivel ezen a helyszínen nem volt szignifikáns különbség a SOM-ban a két kezelés között, feltételezhetjük, hogy a talaj pH-ja befolyásolta a Q értéket. Ebben a vizsgálatban füzesgyarmati ÖKO tábla, amely már 20 éve ökológiai gazdálkodás alatt állt szignifikáns eltérést eredményezett a pH-ban, valószínűleg azért, mert a tápanyag-gazdálkodás során nem alkalmaztak savasan hidrolizáló műtrágyákat.

A *talaj labilis széntartalma* a szervesanyag egy olyan része, amely a gazdálkodási gyakorlatokra hamarabb reagál, mint a SOM (Weil et al. 2003). A labilis széntartalom a tavaszi mintavételekből két helyszínen szignifikáns eltéréssel jelezte a regeneratív módszerek hatását az ÖKO táblákon. A magasabb labilis szén érték összhangban van a szakirodalommal, ahol a biogazdálkodás, a talajművelés és a konzerváló mezőgazdasági gyakorlatok is növelték a SOM aktív szénfrakcióját (Juhos et al., 2023). Eredményeink arra utalnak, hogy a labilis szenet a mintavétel időpontja is befolyásolhatja. Az őszi mintavételi időpontnál a KONV táblán már megtörtént a tarlóhántás és az alpművelés (szántás) az ÖKO táblán pedig még nem. A talaj levegőztetése és a szervesanyag beforgatása átmenetileg megnövelhette az érzékenyen reagáló paraméterek értékét a KONV táblán, így nem mutatott szignifikáns eltérést a különböző talajgazdálkodás a labilis szénre, pedig az könnyen változik az agrotechnikai beavatkozások hatására. A tavaszi mintavételt megelőzően a táblák hosszabb ideje nyugalmi állapotban voltak, a talajba való beavatkozások hatása mérséklődött, így ebben az időpontban már mutatkozott szignifikáns különbség az ÖKO javára. Az őszi mintavételnél alacsonyabb labilis szén értékeket látunk Kömlődön és Füzesgyarmaton a KONV táblákon. A mélyebb forgatásos talajművelés nagyobb levegőztetést és a mikrobiális biomassza gyorsabb bomlását okozhatta, ez látszódnak az alacsonyabb értékekben.

Az *aggregátum stabilitása* szignifikánsan magasabb volt a Kömlődön és Száron az ÖKO táblán. Eredményeink összhangban vannak a szakirodalommal, miszerint a biogazdálkodási gyakorlatok, a kímélő talajművelés és a diverz vetésforgó növeli az aggregátumok stabilitását (Williams et al., 2020; Littrell et al., 2021), ami a SLAKES teszt alkalmazásával is szignifikánsan kimutatható. Mivel ezek a talajregeneráló gyakorlatok pozitívan befolyásolják a talaj biológiai aktivitását, kedvezően hozzájárulnak az aggregátumképződéshez. (Lehmann et al., 2017). Füzesgyarmaton is magasabb volt az

aggregátumstabilitás az ÖKO táblán, azonban ez a különbség nem volt szignifikáns. Ezen a parcellán folyt a leghosszabb ideig biogazdálkodás, de a KONV parcellát minden évben istállótrágyával trágyázták, így ez is pozitív hatással volt az aggregátumstabilitásra.

A kömlődi és a füzesgyarmati tábláknál az őszi mintavételkor, a szári tábláknál pedig a tavaszi mintavételkor szignifikánsan magasabb *DHA enzimaktivitást* mértünk az ÖKO parcellákon. A szakirodalomban számos tanulmány alátámasztja azt, hogy a konzerváló talajművelési gyakorlatok növelik a mikrobiológiai aktivitást. Az aktivitás jó mutatója lehet a talaj javulásának a gazdálkodási gyakorlatokra adott válaszként, amely sokkal hamarabb változhat, mint a talajok egyéb tulajdonságai (Cardoso et al., 2013). A DHA-t könnyen befolyásolja az utolsó talajművelés vagy a növényi maradványok mennyisége és minősége is, ezért a mérést évente többször is ajánlott elvégezni. A biológiai aktivitás erősen összefügg a labilis szénkészletekkel, mivel ez a mikrobák számára a legkönnyebben hozzáférhető energiaforrás. Emellett az elpusztult mikrobiális biomassza (a nekromassa) később növelheti szintén a labilis szénkészletet. Eredményeink alátámasztják ezt a megközelítést, mert ahol ősszel szignifikánsan magasabb enzimaktivitást találtunk (Kömlőd, Füzesgyarmat), ott tavasszal szignifikánsan magasabb labilis szén tartalmat mértünk.

Az *glomalin tatalom* eredményei csak a kömlődi tábláknál mutattak szignifikáns különbséget a tavaszi mintavételi időpontban, ahol a glomalin tartalom szignifikánsan magasabb volt az ÖKO táblán, mint a KONV táblán. A szakirodalom arról számol be, hogy a kímélő talajművelés, a biogazdálkodás és a takarónövények alkalmazása növeli a glomalin tartalmat a talajban. Az a tendencia, hogy a regeneratív talajművelés pozitívan befolyásolja a glomalin tartalmat, Kömlőd esetében is megfigyelhető volt, ami összhangban van Kobierski et al. (2020) tanulmányával is. Füzesgyarmaton a nagymennyiségű szervesztrágya alkalmazása adhatott magasabb glomalin-tartalmat a KONV parcellán.

Eredményeink azt mutatták, hogy az ÖKO táblákon magasabb volt a *fonálférgek abundanciája*, mint a KONV táblákon, de ezek a különbségek csak a kömlődi és füzesgyarmati táblák esetében voltak szignifikánsak a tavaszi mintavételi időpontban. A nematóda populáció elemzése a talaj egészségének indikátora lehet, mivel az gyorsan reagál a talajgazdálkodási rendszer változására. A nematóda populációk összetétele fontosabb paraméternek számít, azokban a tanulmányokban, amelyek a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok hatását vizsgálják a talajegészség állapotára, hiszen a nematódák között vannak gyökérfogyasztó fajok is, továbbá a nematódák jelenléte a különböző trofikus szinteken meghatározó a talajtáplálékháló egyensúlyának fenntartásához. Vannak azonban olyan tanulmányok is, amelyek megnövekedett nematóda denzitás számoltak be a talajregeneratív módszerek hatására (Henneron et al., 2016), amely a mi vizsgálatunkban is megmutatkozott.

Annak megállapításához, hogy vajon a vizsgált fenntartható gazdálkodási rendszereknek van-e hatása a konvencionális gazdálkodási rendszerrel szemben a talaj egészségére a táblák adatait standardizáltuk és statisztikailag elemeztük.

Az általunk végzett vizsgálatok és elemzések alapján megállapíthatjuk, hogy a két gazdálkodási rendszer és mód között statisztikailag is igazolt szignifikáns különbség mutatkozott (**p=0,011**). A mért paraméterek esetében 3 mérés mutatott szignifikáns különbséget a két gazdálkodási rendszer között:

- az *aggregátum stabilitás* (**p=0,000**),
- a *DHA enzimaktivitás őszi* (**p=0,025**) és *tavaszi mintavétele* (**p=0,048**)
- és a *nematóda denzitás* (**p=0,032**).

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A rövidtávú szántóföldi kísérlet alapján azt a következtetést tudjuk levonni, hogy az ökológiai gazdálkodásba beillesztett talajregeneratív módszerek rövidtávon nem mutatnak látványos eredményeket, amely összhangban van több irodalomban leírtakkal is. Az enzimaktivitás azonban szignifikáns különbséget tudott kimutatni a kímélő talajművelés és a takarónövényes tábla javára a hagyományos szántásos műveléshez viszonyítva, amely már indikálhatta, hogy a folytatott módszer később a talaj más paramétereiben is kimutatható javulást ad.

A kutatások közül az *on-farm* kísérlet volt az, amely a leghasznosabb eredményeket nyújtotta a talajregeneráló talajgazdálkodásról. A három táblapáros, ahol a konvencionális hagyományos szántásra alapozott művelést és az ökológiai regeneratív gazdálkodást tudtuk összehasonlítani egyértelműen azt mutatta, hogy van értelme és létjogosultsága a fenntarthatóbb gazdálkodási formának. Már rövid távon is kimutatható volt a legtöbb paraméterben különbség a regeneratív gazdálkodás javára az érzékeny indikátorokban. Ez lehet annak az eredménye is, hogy együttesen alkalmaztak több talajregeneratív módszert (a kímélő talajművelést és a növényi diverzitás növelését is) az ökológiai gazdálkodásra való átállás során, mely feltételezés a szakirodalmakkal való összevetés után is megállja a helyét.

Az eredmények és az irodalmak összevetése és értékelése után azt a következtetést is levonhatjuk, hogy a *regeneratív módszerek kiegészíthetik egymást*, sőt az egyes módszerek alkalmazásakor jelentkező kedvezőtlen hatást a másik módszer alkalmazása kompenzálhatja. A művelés minimalizálása nagy kihívás ökológiai gazdálkodásban, azonban a takarónövények és a kettős termesztések alkalmazásával ez a probléma mérsékelhető. Ügyes technikákkal, - mint például a takarónövények alávetése vagy rávetése a kultúrnövényre - kikerülhetők a takarónövényekhez fűződő nehezítő tényezők. A takarónövények sikertelen alkalmazásának oka sok esetben az, hogy a nyáron lekerülő kultúra után a legszárazabb és legmelegebb időszakokra esik a takarónövények vetési ideje.

A *kettős termesztésnél* a takarónövény a kultúrnövénnyel egyszerre vagy később történik, de mindenképpen kedvezőbb időpontban, továbbá a főnövény lekerülése után rögtön takarást biztosít. A kömlődi gazdálkodó két általunk vizsgált táblán is sikeresen alkalmazta a kettős termesztés módszerét, amely azt tette lehetővé számára, hogy másfél évig bolygatatlanul növénnel fedetten állt a területe úgy, hogy közben nem hagyott ki évet a főnövény termesztés szempontjából. Valószínűleg ez tükröződött abban, hogy már rövid távon is jelentős különbségeket tudunk kimutatni a talajegészség indikátoraiban a szomszédos konvencionális és hagyományos művelésű táblájával összehasonlítva.

Az is megfigyelhető volt az eredmények alapján, hogy ha egy gazdálkodó alkalmaz egy talajregeneratív módszert, de mellette más gazdálkodási gyakorlata talajromboló, akkor az képes lehet teljesen eltüntetni a regeneratív módszer pozitív hatását. A füzesgyarmati konvencionális hagyományos talajművelést alkalmazó gazdálkodó, nagy mennyiségű szervesstrágyát juttatott ki minden évben a területére, azonban ennek a feltételezhető pozitív hatása nem látszott meg az eredményekben. Több indikátor szerint jobb eredményeket mértünk a szomszédos ökológiai gazdaságban. Ennek oka az intenzív és mély talajművelés lehet, amely szerkezet romboló hatásával elfedte az istállótrágya pozitív hatásait.

Az *on-farm* kutatások tudományos értékelését *megnehezíti a sok változó elem*, azonban a valós gazdálkodási körülmények, hogy valóban olyan emberek állnak a gazdálkodási gyakorlatok mögött, akiknek a gazdálkodáson múlik a megélhetésük, egy valóságosabb és gyakorlathoz jobban kötődő tudományos kutatást eredményezhetnek. Főleg akkor, ha van lehetőség arra, hogy gazdálkodók elmondhassák saját tapasztalataikat is. A különböző települések tábláin vett minták alapján levonható az a következtetés is, hogy *a regeneratív módszerek hatása máshogy érvényesül a különböző textúrájú talajokon*. Pontosabban a talajegészség állapotának meghatározásánál a regeneratív módszereknél meghatározóbb a talaj

fizikai félesége, mint a rajta alkalmazott talajgazdálkodási gyakorlatok. Az általunk vizsgált legtöbb paraméter eltérő összefüggéseket mutatott a különböző fizikai féleségű talajokon.

Kutatásunkban a *gazdálkodókkal folytatott interjúkból* kiderült, hogy a gazdálkodók is tapasztalták a talajregeneratív módszerek pozitív hatását a talajaikon. Például olyan területeken, ahol korábban belvíz volt megfigyelhető, hogy a megváltoztatott talajgazdálkodási gyakorlatok hatására az már nem jelentkezett. Továbbá a takarónövények alkalmazásánál megfigyelték a talajok nagyobb fokú nedvességmegőrzését és a deflációs-eróziós károk csökkenését is. Előnyként fogalmazható meg, hogy az ökológiai gazdálkodás körülményei, azaz a külső inputok minimalizálása és a természetes erőforrásokra való nagyobb támaszkodás kevésbé teszi kiszolgáltatottá a gazdálkodókat. kevesebb input használatával és a talajművelés minimalizálásával *csökkennek a kiadások*. Habár a gazdálkodók a termésátlagokban csökkenést észleltek az ökológiai gazdálkodásra váltás után, ezt a magasabb áron eladható termék is kompenzálta. A vetésforgó diverzifikációja a szélsőséges időjárású évjáratokban csökkenti a gazdasági kárt, ugyanis a többféle növényből nagyobb eséllyel lesz olyan kultúra, amelyiket kevésbé érint például az aszály. Továbbá az inputok minimalizálásával egy a termés hozam szempontjából szegényebb év sem érinti súlyosan a gazdaság költségvetését.

Az is levonható következtetésképp az interjúk alapján, hogy a regeneratív módszerekhez *szükséges a géppark fejlesztése*, mert a hagyományos eszközökkel limitáltabban tudják alkalmazni a kívánt módszereket. Nagyobb területen gazdálkodóknak könnyebb a talajregeneratív módszerek alkalmazása, mert sok esetben rendelkezésre állnak olyan gépek, amelyekkel egyszerűbben tudják adaptálni a talajkímélő művelést, mint például a füzesgyarmati gazdaság esetében. A füzesgyarmati konvencionális több száz hektáros gazdaság talaja azért mutathatott több esetben jobb -vagy ugyanolyan - eredményt néhány paraméterben, mint a - már 20 éve - ökológiai gazdaság talaja, mert modernebb gépek álltak rendelkezésére, amelyek egyidőben képesek elvégezni többféle műveletet és a tarlómaradványt is könnyebben dolgozzák be a talajba sekélyen is.

A beszélgetések alapján az is leszűrődött, hogy a gazdálkodóknak a regeneratív módszerek alkalmazásához sok információ megszerzésére van szükség, vagyis egy nagyobb szintű önfejlesztést igényel a beillesztésük a gazdaságba, amely időt is követel a gazdálkodótól. Idő és türelem szükséges ahhoz, hogy a megismert technikákat a saját területükre sikeresen tudják adaptálni.

Az *indikátorokat figyelembe véve* levonható az a következtetés, hogy a stabilabb mutatók, mint SOM, humusz-minőség, pH rövidtávon (3-5 éven belül) nem érzékenyek a talajgazdálkodási gyakorlatokra. Az on-farm kísérlet egymás mellett fekvő tábláin szignifikánsan magasabb értéket mértünk több paraméterben is a regeneratív talajgazdálkodásnál, de a szervesanyag szintjén mégsem adódott statisztikailag is igazolt különbség a legtöbb talajban. Ettől kivételt a már 20 éve ökológiai gazdálkodásra áttért táblánál (Öko-sekély1) találtunk, de a 3-5 éve átállt területeken is lehetett enyhén magasabb átlagértékeket találni. Kutatásaink alátámasztották a legtöbb irodalomban szereplő eredményeket a SOM-ról, miszerint hosszútávon lehet jó indikátora a talajgazdálkodás megváltoztatásának.

A *humusz minőség* az eredmények alapján nem mutatott erős összefüggést a humusztartalommal. A füzesgyarmati helyszínen egy lényegesen összetettebb képet kaphattunk a táblák talajának állapotáról azáltal, hogy nagyjából azonos humusztartalomhoz alacsonyabb humuszminőséget mértünk. Ez a tény értékes adattal szolgálhat a humusztartalmat kiegészítve. A humuszminőség, mint talajegészség-jelző, hosszútávú kutatásban jó indikátora lehet a talajgazdálkodás hatásának, azonban a talaj fizikai félesége nagyban befolyásolja a mérés kimenetelét. A pH mérést tekintve, az előkutatásban látványos eredményeket kaptunk, azonban a kísérletben és az on-farm kutatásban a különböző talajgazdálkodások között rövidtávon nem mutatott különbséget ez a talajparaméter. A Füzesgyarmati mintákban, amely 20 éve váltott

gazdálkodási formát, a pH-ban is kimutatható volt a szignifikáns változás. Ez alapján megállapítható, hogy a pH alkalmas lehet a talajban végbemenő változások indikálására hosszútávon.

A *talajnedvesség* egy rendkívül egyszerű mérés és paraméter, amely nagyban összefügg a talaj szerkezetével és szervesanyagtartalmával. Nemcsak mint vizsgálati paraméter fontos, hanem tulajdonképpen a talajkímélő művelés egyik fontos céljának is tekinthető. A talajok nedvességtartalmának megőrzése a termesztés szempontjából kardinális, főleg a klímaváltozás hatásának mérséklésében. Kutatásunkban megbízható paraméternek bizonyult, az előkutatásban nagy összefüggést mutatott a legtöbb mért paraméterrel és az on-farm kutatásban szintén elmondható ez Kömlődön és Száron. Konzekvens és megbízható mérésnek bizonyult, mivel a két mintavételi időpontban vett adatok minden településen pozitív korrelációt mutattak. Ahogy több indikátorra is igaz volt a szélsőségesebb talajtextúrájú talajokon kevésbé egyértelmű összefüggéseket mutattak a többi paraméterrel. A települések közül Szárnál és Füzesgyarmatnál is mértünk szignifikánsan magasabb eredményt a regeneratív talajgyakorlatok hatására, tehát korai indikátornak is használható. Egyetlen hátránya, hogy indikátorként csak abban az esetben használható, ha kontroll terület áll rendelkezésre a mérni kívánt terület közelében, monitoring mérésre nem alkalmazható.

Az *aggregátum stabilitás* jó indikátornak számít az irodalmak alapján, ha eltérő talajgazdálkodás hatását szeretnénk értékelni és ezt eredményeink is alátámasztotta. Az aggregátum stabilitás két szempontból is értékelésre került, egyrészt mint talajparaméter, amely meghatározó indikációval rendelkezik, másrészt mint mérési módszer. A SLAKES nevű okostelefonos módszert még csak néhány kutatás alkalmazta a jelenlegi tudományos publikációk alapján. Mivel 2023-ban jelent csak meg ez az eljárás, csupán az on-farm kísérletben volt lehetőségem alkalmazni. A mérés rendkívül egyszerűen kivitelezhető és nincs nagy eszközigénye. Az on-farm kutatás legmeghatározóbb eredményét ez a vizsgálat nyújtotta. Legerősebb szignifikancia szinttel mutatta ki a különbséget két olyan tábla esetén is, amely 3-5 éven belül váltott ökológiai gazdálkodásra talajkímélő művelésre és diverzebb vetésforgóra, a szomszédos konvencionális talajműveléssel szemben. A korrelációs vizsgálatok alapján pedig az tűnik ki, hogy nincs feltétlenül összefüggésben a hagyományosan jó indikátornak tartott - és a mi kutatásunkban is megfelelő indikátorként funkcionáló paraméterekkel -, amelyek egymással nagy összefüggést mutattak legfőképp a több agyagfrakciót tartalmazó talajoknál (humusz mennyiség-minőség, enzimaktivitás). Ez a tulajdonsága előnyös, mivel elképzelhető olyan helyzet, ahol míg más paraméter (még) nem tud kimutatni változást a talajban, az aggregátumstabilitás képes lehet. A korrelációs vizsgálatok alapján továbbá több esetben előfordult, hogy a nematóda denzitás, a baktérium mennyiséggel és a DHA-val pozitívan korrelált. Ez arra enged következtetni, hogy az érzékenyebb, gyorsabban változó és reagáló paraméterekkel van nagyobb összefüggésben, amelyet alátámaszt az irodalom is. Az eredményekből – legfőképp a Random-forest vizsgálatból - kiderült, hogy érzékeny a művelés hatásaira, mivel a településeken belül általában a hagyományos szántásra alapozott művelésű talajokon mutatta a legalacsonyabb indexszámot. A SLAKES mobil applikáció (nevű alkalmazás) tökéletes aggregátum-stabilitás mérési módszernek bizonyult, amely kellő érzékenységgel mutatta ki a különböző talajgazdálkodások közötti különbségeket a talajban.

A *labilis szén* a talaj szervesanyag tartalmának olyan formája, amely gyorsabban változik a talajban és ezért alkalmas lehet egy talajgazdálkodás váltás hatásának korai jelzésére (indikációjára), és ezt kutatásunk is alátámasztotta. Az on-farm kísérletben a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok hatására jelentős eltéréseket mutatott. Az egymás mellett fekvő táblák között is jelentkezett eltérés 3-5 éven belül is. A két mintavétel (őszi és tavaszi) eredményei azonban nagy eltérést mutattak és a korrelációs vizsgálatok esetében sem korrelált a labilis szén két mintavételi időpontja. Ez abból következhet, hogy a labilis széntartalmat befolyásolhatja rövidtávon a művelés, a tarlómaradványok kezelésének módja, amely akár egy

tenyészedőn belül eltérést mutathat. Összehasonlításnál, vagy a talaj fejlődésének monitorozásánál ez alapján rendkívül fontos a mintavételi időpont megválasztása, vagy a többszöri vizsgálat alkalmazása.

A *dehidrogenáz enzimaktivitás* (DHA) vizsgálat mind a négy kutatásban alkalmazásra került. Ennek tükrében és a kapott eredmények alapján is ezt az indikátort találtuk a legalkalmasabbnak a talajhasználatból eredő változások detektálására. A rövidtávú kísérletben a DHA volt az egyetlen mérés, amely szignifikáns különbséget mutatott a talajregeneratív módszerek alkalmazásának hatására a hagyományos gazdálkosással szemben. A tenyészedenyes kísérletben különbséget mutatott az egyes növényfajok enzimaktivitására gyakorolt hatásában. Az on-farm kísérletben pedig szintén különbségeket tudott kimutatni a különbözően kezelt táblák között. A korrelációs vizsgálatok alapján a legtöbb paraméterrel pozitívan korrelál, a mintavételi időpontok között is minden esetben nagy volt a korreláció. A mintavételi időpontok összefüggő eredményeket mutattak a DHA szerint a korrelációs vizsgálatok alapján, tehát konzekvens adatokat szolgáltatott. Több esetben azonban a különbség a táblák talajai között csak az egyik mintavétel alapján volt jelentős, mivel a különböző talajművelési beavatkozások átmenetileg mérsékelhették a táblák között a különbségeket az enzimaktivitásban. A DHA esetében is fontos ezért, hogy jól válasszuk meg a mintavételezés időpontját, lehetőleg olyan időpontot válasszunk, amelyet nem előzött meg a közelmúltban talajművelés, talajbolygatás.

A *glomalin tartalomról* összességében elmondható, hogy konzekvens adatokat szolgáltatott. A korrelációs eredmények azt mutatták, hogy sok más paraméterrel is pozitív összefüggést ad. Az érzékenyebbnek gondolt talajparaméterek közül ez mutatta a legkevesebb szignifikáns eltérést az on-farm kutatásban. Kutatásaink, nem támasztották alá az irodalmak alapján megállapított összefüggéseket mely szerint a glomalin jelenléte összefüggésben van az aggregátum stabilitással. Olyan táblán is mutatott magasabb értéket a szomszédos táblával összehasonlítva Füzesgyarmatnál, ahol szinte minden más összefüggő paraméter alacsonyabb értéket adott. A leírtak tükrében a glomalint feltételeesen tartom megfelelő indikátornak. Csak 5 évnél hosszabb távon és a mérések ismétlésével gondolom azt, hogy kimutathat szignifikáns különbségeket az eltérő talajgazdálkodások között.

Kutatásaink alapján a *nematóda denzitás* az irodalmakban olvasottak alapján a vártnál jobb indikátornak mutatkozott. A legtöbb kutatás a nematóda összetételt vizsgálja és önmagában a mennyiségi paramétert nem tartja meghatározó mutatónak. Igaz, hogy sajnos csak az on-farm kísérletben tudtuk alkalmazni így több kutatás eredményét nem tudtuk összevetni. Azonban az on-farm kutatásban meghatározó indikátornak számított és konzekvens adatot nyújtott a korrelációs vizsgálatok alapján. A tartós indikátorokkal kevésbé függött össze az eredményük, azonban a baktérium-mennyiséggel minden mért esetben szignifikáns összefüggést mutatott és az aggregátumstabilitással is több esetben. Ezek alapján elmondható, hogy alapvetően a *gyorsan változó paraméterekkel* van nagyobb összefüggésben és azon belül is legfőképp a többi biológiai paraméterrel. Ha a 3 táblapár összesítő statisztikai elemzését nézzük, ahol a konvencionális szántásos gazdálkodás került összehasonlításra az ökológiai és talajregeneratív rendszerrel ott azt láthatjuk, hogy a 3 szignifikáns különbséget mutató paraméter közül a nematóda denzitás volt az egyik, ráadásul mind a két mintavételi időpont alapján megállapítható tendencia. Ez alapján azt gondolom, hogy az irodalmak alapján alulértékelt mutató, nagyobb potenciállal rendelkező indikátor, mint amilyen szinten használják. Ennek ellenére összhangban az irodalmakkal, javasolt lehet kiegészíteni a nematóda populáció összetételével is ezt az indikátort. A Baermann tölcseres módszer elvégzéséhez szükséges egy egyszerű sztereo-mikroszkóp és néhány további könnyebben beszerezhető eszköz, nem igényel laboratóriumi körülményeket, így akár a gazda is elvégezheti önállóan a vizsgálatot.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az on-farm kutatás során az ország több pontján vizsgálva megállapítottam, hogy az ökológiai gazdálkodásra való áttérés talajregeneratív módszerekkel kiegészítve - kímélő talajműveléssel, a növényi diverzitás növelésével, és takarónövények alkalmazásával - már rövid távon is szignifikáns különbséget mutatott a legtöbb általam vizsgált talajparaméterben a konvencionális szántásra alapozott műveléssel összehasonlítva.
2. Megállapítottam, hogy a talajok dehidrogenáz enzim-aktivitása (DHA), a mikrobiológiai aktivitást is jelző labilis széntartalom (POXC), a fonálférgek (nematódák) denzitása, az aggregátum stabilitás és a talaj nedvességtartalma, megfelelően érzékeny indikátorok ahhoz, hogy már rövid távon is kimutassák, jelezzék a talajregeneratív módszerek kedvező hatásait.
3. Az elvégzett négy különböző kísérlet eredményei alapján megállapítottam, hogy a vizsgált paraméterek között a legjobb korai indikátornak - a hazai háttér-adatok alapján is a legtöbb eredménnyel rendelkező - dehidrogenáz enzimaktivitás (DHA) vizsgálata bizonyult. A DHA már 2 év után is jelezte a talajregeneratív módszerekre való áttérés pozitív hatásait és jó alapot adhat a hazai különféle gazdálkodási módok pontos és javasolható összehasonlítására.
4. Megállapítottam, hogy az aggregátum stabilitás a talaj alapvető fizikai féleségétől függetlenül is mutatja a különböző gazdálkodási gyakorlatok közötti különbséget. Az aggregátum-stabilitási értékeket a talajművelés befolyásolta leginkább, amely megállapítás a többi vizsgálat közül kiemeli. Az alkalmazott mérés (SLAKES teszt) elvégzése egyszerűnek bizonyult, nem igényel laboratóriumi körülményeket, így a gazdálkodóknak közvetlen felhasználásra is ajánlható módszer.
5. Megállapítottam, hogy a javasolt indikátorok, így a DHA enzimaktivitás, a labilis szén is fokozottan érzékenyek a talajt érő beavatkozásokra, ezért a mintavételi időpontok kiválasztása meghatározó jelentőségű. Kimutattam, hogy az összehasonlító vizsgálatokhoz egységesen összehangolt időpontra van szükség, amelyre kutatásom alapján a késő tavaszi időpont javasolható, amikor a talajok általában hosszabb ideje bolygatatlan állapotban vannak.
6. A tenyészedényes kísérlet alapján megállapítottam, hogy a választott takarónövény fajok közül a lóbabnak és az 5 növényfajból álló keveréknek volt a legpozitívabb hatása a talajra az enzimaktivitások (DHA, FDA), a glomalin tartalom (GRSP), és a tápanyag visszatartás szempontjából (NO_3 , NH_4 , EC), így alkalmazásukat javasolnám takarónövényként ökológiai gazdálkodásban.

6. FELHASZNÁLT IRODALMAK

- Chu, M., Jagadamma, S., Walker, F. R., Eash, N. S., Buschermohle, M. J., & Duncan, L. A. (2017). Effect of multispecies cover crop mixture on soil properties and crop yield. *Agricultural & Environmental Letters*, 2(1), 170030.
- Florence, A. M., & McGuire, A. M. (2020). Do diverse cover crop mixtures perform better than monocultures? A systematic review. *Agronomy Journal*, 112(5), 3513-3534.
- Juhos, K., Nugroho, P. A., Jakab, G., Prettl, N., Kotrocó, Z., Szigeti, N., ... & Madarász, B. (2024). A comprehensive analysis of soil health indicators in a long-term conservation tillage experiment. *Soil Use and Management*, 40(1), e12942.
- Mäder, P. & Berner, A. (2012). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 7-11.
- Reynolds, S. H., Ritz, K., Crotty, F. V., Stoate, C., West, H., & Neal, A. L. (2017). Effects of cover crops on phosphatase activity in a clay arable soil in the UK. *Aspects of Applied Biology*, 136, 215-220.
- Siczek, A., Frąc, M., Kalembasa, S., & Kalembasa, D. (2018). Soil microbial activity of faba bean (*Vicia faba* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere during growing season. *Applied Soil Ecology*, 130, 34-39.
- Szostek, M., Szpunar-Krok, E., Pawlak, R., Stanek-Tarkowska, J., & Ilek, A. (2022). Effect of different tillage systems on soil organic carbon and enzymatic activity. *Agronomy*, 12(1), 208.
- 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(1), 3-17.
- Wen, L., Peng, Y., Zhou, Y., Cai, G., Lin, Y., & Li, B. (2023). Effects of conservation tillage on soil enzyme activities of global cultivated land: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 345, 118904.
- Williams, H., Colombi, T., & Keller, T. (2020). The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern Sweden. *Geoderma*, 360, 114010.
- Kobierski, M., Lemanowicz, J., Wojewódzki, P., & Kondratowicz-Maciejewska, K. (2020). The effect of organic and conventional farming systems with different tillage on soil properties and enzymatic activity. *Agronomy*, 10(11), 1809.
- Puerta, V. L., Pereira, E. I. P., Wittwer, R., Van Der Heijden, M., & Six, J. (2018). Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research*, 180, 1-9.
- Pittarello, M., Dal Ferro, N., Chiarini, F., Morari, F., & Carletti, P. (2021). Influence of tillage and crop rotations in organic and conventional farming systems on soil organic matter, bulk density and enzymatic activities in a short-term field experiment. *Agronomy*, 11(4), 724.
- Cardoso, E. J. B. N., Vasconcellos, R. L. F., Bini, D., Miyauchi, M. Y. H., Santos, C. A. D., Alves, P. R. L., ... & Nogueira, M. A. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, 70, 274-289.
- Lehmann, A., Zheng, W., & Rillig, M. C. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1828-1835.
- Littrell, J., Xu, S., Omondi, E., Saha, D., Lee, J., & Jagadamma, S. (2021). Long-term organic management combined with conservation tillage enhanced soil organic carbon accumulation and aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 85(5), 1741-1754.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., ... & Mäder, P. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for sustainable development*, 36, 1-20.
- Henneron, L., Bernard, L., Hedde, M., Pelosi, C., Villenave, C., Chenu, C., ... & Blanchart, E. (2015). Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 169-181.

7. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ LEGFONTOSABB SAJÁT PUBLIKÁCIÓK ÉS TUDOMÁNYOS AKTIVITÁS

Folyóiratcikkek (IF-es)

Kabalan, S., Juhos, K., **Tóth, E.**, & Biró, B. (2022). Impact of symbiotic mycorrhiza interrelation in some soil biological parameters and growth of five cover crops. *Agrokémia és Talajtan*. 71(1): 135-147. - Q4, IF=0,151

Kabalan, S., Kovács, F., Papdi, E., **Tóth, E.**, Juhos, K., Biró, B. (2024): Residues of symbiont cover crops improving corn growth and soil-dependent health parameters. *Agriculture*, 14, 1601. - Q1 IF=3,3

Tóth, E., Csambalik, L., Biró, B., Gere, A., Koren, D., Kotroczó, Zs., Szalai, Z. (2024): Are the nutritional properties of organic tomatoes altered by single and combined microbial soil inoculants? A Multiperspective Approach. *J. Plant Growth Regulation*. (on line elérhető: <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11358-z>) – Q1, IF=3,9

Tóth, E., Biró, B., Kotroczó, Zs., Szalai, Z., Juhos, K. (2024): A short-term improvement in soil health indicators after conversion to organic farming with soil health practices, *J. Central European Agriculture*. - Q3, IF=0,7 (közlésre elfogadva, nyomdában)

Folyóiratcikkek (lektorált, referált, nem IF-es)

Tóth, E., Ferschl, B., Kabalan, S., Juhos, K., Kotroczó, Zs., Biró, B., Szalai, Z.: Dehidrogenáz enzimaktivitás, mint a talajkímélő művelés és takarónövény alkalmazások korai indikátora, *J. Central European Green Innovation* (közlésre beküldve).

Konferencia-közlemények és absztraktok

Kabalan, S; **Tóth, E.**, Biró, B. (2021): Comparable effect of some cover crops on two different soil enzyme activities In: Cseresznyés, D; Király, Cs (szerk.) XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Absztrakt kötet, Budapest, Magyarország. ELTE Természettudományi Kar (2021) 239: pp. 140-145.

Kabalan, S., Juhos, K., **Tóth, E.**, & Biró, B. (2022): Biomass production of five cover crops in relation with some soil-quality indicators and colonization by arbuscular mycorrhiza fungi. In: *XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Plant Nutrition, Fertilization, Soil Management*. V. 1375, pp. 169-176.

Tóth, E., Biró, B., Szalai, Z. (2018): Soil-data can be improved by qualitative soil food web assessment of soils from various organic cultivation practices In: *Dynamic developments in organic research: Strengthening partnerships across Europe and beyond*. Book of abstracts. Bécs, Ausztria: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), 95 p. p.

Tóth, E., Biró, B., Szalai, Z. (2018): Különböző talajhasználati módszerek hatása a talajélet mennyiségi és minőségi tulajdonságaira. In: Bakacsi, Zs; et al. (szerk.) *Talajtani Vándorgyűlés. Talajhasználat-funkcióképesség*. Magyar Talajtani Társaság Vándorgyűlése, Pécs, Absztraktfüzet pp. 64-65.

Tóth E., Biró B. Szalai Z. (2019): Eltérő talajhasználat hatása a talaj humusztartalmára és néhány biológiai tulajdonságára ökológiai gazdálkodásban. In: *Őshonos- és Tájfajtak, Ökotermékek, Egészséges táplálkozás, Vidékfejlesztés. A XXI. század mezőgazdasági stratégiái* II. Tudományos Konferencia, Nyíregyháza. Konferencia kötet, p. 251.