



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

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

DOI: 10.54598/006220

DOKTORI (PHD) DISSZERTÁCIÓ

Tóth Eszter

Budapest

2024

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

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	1
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
2.1. A mezőgazdaság hatása a talajra	3
<u>2.1.1. A talajélet szerepe a mezőgazdaságban</u>	<u>4</u>
2.2. Talajkímélő gazdálkodási módok	6
<u>2.2.1. Az ökológiai gazdálkodás hatása a talajra</u>	<u>6</u>
<u>2.2.2. A talajkímélő művelés hatása a talajra.....</u>	<u>9</u>
<u>2.2.3. Az ökológiai gazdálkodás és a talajkímélő művelés kapcsolata.....</u>	<u>12</u>
2.3. A növényi diverzitás növelése és fontossága a mezőgazdaságban	14
<u>2.3.1. A takarónövények alkalmazása ökológiai gazdálkodásban</u>	<u>18</u>
2.4. A talajegészség vizsgálata, indikátorai	18
<u>2.4.1. Fizikai és kémiai talaj-tulajdonságok.....</u>	<u>18</u>
<u>2.4.2. Talajbiológiai tulajdonságok fontossága rövid és hosszabb távon</u>	<u>21</u>
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	22
3.1. Elő-kutatás különböző talajhasználatú területekkel	22
3.2. Rövidtávú szabadföldi kísérlet	24
3.3. Tenyészedényes kísérlet takarónövényekkel.....	27
3.4. On-farm kutatás	28
<u>3.4.1 A kömlődi táblák bemutatása.....</u>	<u>28</u>
<u>3.4.2. A szári táblák bemutatása</u>	<u>32</u>
<u>3.4.3. A füzesgyarmati táblák bemutatása</u>	<u>35</u>
<u>3.4.4. A bugaci táblák bemutatása</u>	<u>38</u>
<u>3.4.5. Talajmintavételezés és klimatikus tényezők</u>	<u>40</u>
<u>3.4.5.1. A klimatikus tényezők</u>	<u>40</u>
<u>3.4.5.2. Talajok vizsgálata az on-farm kutatásban</u>	<u>42</u>
<u>3.4.6. A gazdák véleménye, az interjú készítés módja</u>	<u>42</u>
3.5. Mérési módszerek	43
3.6. Statisztikai elemzés	48
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELESÜK.....	49
4.1. Az előkutatás eredménye és értékelése	49
4.2. A rövidtávú szabadföldi kísérlet eredményei és értékelésük	52
4.3. A tenyészedényes kísérlet eredményei és értékelése	58
4.4. Az on-farm kutatás eredményei	63

4.4.1. A különböző települések tábláin mért talajtulajdonságok eredményei és megvitatásuk	64
4.4.2. A regeneratív talajgazdálkodás hatása	79
4.4.3. A gazdákkal készített interjúk kivonata	86
5. KÖVETKEZTETÉSEK	91
5.1. A talajregeneratív gazdálkodás hatása a talajra és beilleszthetősége ökológiai gazdálkodásba	91
5.2. Az indikátorok értékelése a kutatások alapján	93
5.4. A kutatás gyakorlati haszna	97
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	98
7. ÖSSZEFOGLALÁS	99
8. MELLÉKLETEK	101
M1. Irodalomjegyzék	101
M2.	118
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	130

1. BEVEZETÉS ÉS 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 gazdálkodóknál, 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. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A mezőgazdaság hatása a talajra

A mezőgazdaságnak, amely a termőfölddel dolgozik arra kellene elhivatottnak lennie, hogy az élelmet az állatoknak és az embereknek az erőforrások csökkenése nélkül termelje meg, megtartva azt a jövő generációi számára is. Mégis évente több mint 12 millió hektár termőföld megy veszendőbe a nem megfelelő talajhasználat miatt (FAO). A Világ talajainak nagyjából a 33%-át sújtja enyhétől a súlyosig terjedő degradáció. A FAO globális adatai szerint, míg a talajképződés nem haladja meg az átlag 1 t/ha/év mennyiséget, a talajerózió mértéke 30-100 t/ha/év.

A csapadék és a szél hatására bekövetkező talajdegradáció egy természetes folyamat, azonban az emberi beavatkozás hatására felgyorsulhat és nagy méreteket ölthet, tendenciájában és erősségében is szélsőségesen változhat. (Ángyán és Menyhért, 1997). A talajvesztés legfőbb okai a helytelen gazdálkodási gyakorlatok, mint az intenzív művelés, a szervesanyagok pótlásának a hiánya, a műtrágyák túlzott mértékű használata és a monokultúrák termesztés (Montgomery, 2007; Dabney et al., 2001; Aulakh et al., 2022).

Az intenzív talajművelés levegős, oxigén-dús körülményeket teremt a talajban, amely megnövekedett aerob mikroba-tevékenységet okoz és ennek eredményeképpen erősödnek a lebontó folyamatok. Szervesanyag utánpótlás hiányában a talaj hosszútávú szénraktárai is elégetésre kerülnek, ezért ez a folyamat humusz-csökkenéshez vezet és magasabb szén-dioxid kibocsátáshoz is (Kassam et al., 2015). Az intenzív művelés ezen túl a mikroszkópikus gombák és a mikorrhiza gombák hifa hálózatát is rendre rombolja (Kabir, 2005). A mezo- és makro- faunába tartozó taxonok és élőlények életterét is rongálja, például a földigiliszták járatait is megbolygatja, amely csökkentheti bizonyos gilisztafajok előfordulását és tevékenységét (Peigné et al., 2009). A gyakori talajművelés a talajszerkezet felborításával az aggregátumok stabilitását is gyengíti (Zheng et al., 2018). A sok menetszámos művelés bizonyos talajrétegekben talajtömörödést okoz, amely levegőtlen anaerob körülményeket teremt és ez felerősíti a denitrifikációs folyamatokat, amelyből nitrogén veszteség származik (Füleky, 2011). Ez a folyamat nem csak a talajnak rossz, hanem az átalakult nitrogénből dinitrogén-oxid üvegházhatású gáz keletkezik, így további indirekt negatív következményekkel is jár. Az Európai Unióban egy 2019-es kutatás alapján a mezőgazdasági tevékenység okolható az összes uniós üvegházhatású gáz kibocsátásának a 10,6%-áért, amelyben 80%-ban a mezőgazdaság a felelős (Chataut et al., 2023).

A műtrágyák alkalmazása több szinten is befolyásolja a talaj állapotát. Egyrészt a tápanyagutánpótlás ezen formája legtöbb esetben kiváltja a szerves tápanyagutánpótlást. Ha a mezőgazdasági területen keletkező szerves anyagokat elhordják és azokat vissza nem pótolják akkor az a talaj szervesanyag-tartalmának csökkenéséhez vezet, amelynek eredménye a talajélet elszegényedése, a talaj fizikai szerkezetének romlása, porosodás és a stabil talajmorzsák (aggregátumok) hiánya (Ángyán és Menyhért 1997). A nitrogén műtrágya fokozza a mikrobák lebontó tevékenységét, amely szintén a szervesanyag tartalom csökkenéséhez vezet (Khan et al., 2007). A szerkezet nélküli, elporosodott talajok, amelyek az év egy jelentős részében fedetlenül állnak rendkívül kitétté válnak a szél és a víz romboló hatásának és az eróziós, deflációs károk következtében a talajvesztés óriási mértéket ölthet (Dabney et al., 2001).

Jelentős talajdegradációs folyamat mindezek mellett a talajok elsavanyodása is, amelynek egyik legfőbb oka a savasan hidrolizáló műtrágyák túlzott mértékű alkalmazása (Ángyán és Menyhért 1997). Ilyen hatása van szinte mindegyik N-tartalmú, ammónium-szulfát, az ammónium-klorid, valamint a kálium-szulfát és a kálium-klorid műtrágyáknak is. A növények ugyanis belőlük főként csak az ammónium-, illetve a káliumionokat veszik fel, cserébe pedig hidrogénionokat adnak, amelyek nagy mennyiségben jelentősen savanyítják a talajt (Fülek, 2011).

A talaj leromlásán (degradálódásán) túl a helytelen mezőgazdasági gyakorlatok a többi környezeti elemet is rendkívüli módon képesek szennyezni, azonban ennek tárgyalása nem témája a dolgozatnak.

2.1.1. A talajélet szerepe a mezőgazdaságban

A talaj a benne élő élőlényekkel együtt nélkülözhetetlen szerepet játszik abban, hogy élet lehessen a Földön. Az anyag körforgásának fontos színhelye, ahol is a szervesből szerves, majd a szervesből ismét szerves anyag tud létrejönni. A talajlakó szervezetek a szerves növényi maradványokat lebontják és szerveslenné alakítják át a növények számára felvehető formába, ez által és a nap energiája által a növények képesek saját testüket felépíteni, amely immáron táplálékkul szolgál az állatoknak és embereknek (Kemenes, 1959).

A talajban igen sokféle, sok esetben egymástól távoli faj sok egyede megtalálható. A legkisebb egysejtű baktériumtól kezdve egészen a látható komplexebb felépítésű gilisztákig, rovarokig. Általában három fő csoportra osztják a talaj élővilágát: a 0,1 mm-nél kisebb testszélességű mikroorganizmusokra (mikrobákra), ezekbe tartoznak a baktériumok, gombák, archaeák, protozoák és nematódák, a 2 mm-nél kisebb testszélességű mezofauna (pl.: atkák, ugróvillások); valamint makro- és megafauna (vagyis giliszták, hangyák, ezerlábúak stb.) (Nielsen et al., 2015). Ezek az élőlények egyfajta rendszert, úgynevezett *táplálékhálót alkotnak*. A táplálékháló kifejezés magában foglalja az élőlényeket és azok egymáshoz való viszonyát, interakcióját is. Azon organizmusok közösségét jelenti, amelyek életüket vagy életük egy részét a talajban töltik (Tugel et al., 2000). A talaj táplálékhálóban minden taxonómiai csoportnak megvan a maga szerepe, amely hozzájárul a talaj megfelelő funkcionálásához. Minél nagyobb a talaj biodiverzitása annál teljesebb a hálózat és annál jobban látja el feladatait a talaj a növénytermesztésben és az ökoszisztémában egyaránt (Nielsen et al., 2015).

Minden táplálékháló a primer producenseken alapszik, akik a nap energiáját használják, hogy szén-dioxidot kössenek meg a légkörből, mint például a növények, zuzmók, mohák, algák és fotoszintetizáló baktériumok. Az összes többi élőlény belőlük, vagy az őket megevőkből nyeri saját energiáját. A gyökerek, növényi maradványok és más organizmusok elfogyasztásával a talajlakó élőlények lebontják és átalakítják a tápelemeket és elérhetővé teszik azokat a növények számára (Barrios, 2007).

Tehát a talaj élővilágának köszönhető a talajképződés, a humusz létrejötte, amely hosszú-távú tápanyagraktárként szolgál és számos más pozitív tulajdonság köthető hozzá (Oades, 1993). Javítja a talaj vízháztartását (vízmegtartó képesség, vízáteresztő képesség), szerkezetét, jobb életteret biztosít a talajban élő mikroorganizmusoknak (Powlson et al., 1987). A talaj mikrovilága

közvetlenül is támogatja a növénytermesztést. A baktériumok és a gombák, melyek a gyökerek körül az úgynevezett rhizoszférában koncentrálnak kölcsönösen előnyös kapcsolatba léptnek a gyökérrel. *Rhizoszféra* alatt a talaj azon szűk zónáját értjük, amelyben a gyökerek által kiválasztott kémiai anyagok hatásukat kifejtik. A mikroorganizmusok gyakoribb előfordulását, a növények által kiválasztott váladékok okozzák (Villányi et al., 2006). Ezen fehérjék és cukrok révén nagyobb tápanyagmennyiség áll a mikroorganizmusok rendelkezésére, amelyre eltérő mértékben reagálnak. Leginkább a baktériumok reagálnak az anyagforrásokra, ezeket követik a gombák majd az *Actinomycetes* fajok (Kátai, 2011). A gyökerek körül kolonizáló mikroorganizmusok serkentik a tápanyagok feltáródását, mobilitását, így azok elérhetővé válnak a növények számára, másrészt közvetlenül növelik a tápanyagfelvétel hatékonyságát növekedést szabályozó anyagok termelése által (Bhattacharyya és Jha, 2012). Ha megfelelő mennyiségben vannak jelen kiszorítják a patogéneket, továbbá másodlagos anyagsere-termékeikkel képesek más mikroorganizmusokat elpusztítani, vagy fejlődésüket akadályozni (Khan et al, 2009).

Azon túl, hogy a rhizoszférában kolonizáló mikrobák segítik a növényi növekedést, vannak mikroorganizmusok, amelyek szimbiózisban élnek a növényekkel, mint például a nitrogén fixáló baktériumok és a mikorrhiza gombák. A *szimbióta nitrogén-kötő baktériumok* csoportja együttműködésbe lép a növények gyökerével, és azon gümőt képezve biológiai úton megkötí a légköri nitrogént. Általában lágyszárú növényekkel és azon belül is a pillangós virágú növények gyökerével lépnek együttműködésbe (Vincent, 1982). Mezőgazdasági szerepük meghatározó, hiszen nitrogénhez jutnak tápanyagutánpótlás nélkül, valamint nitrogénnel dúsítják a talajt a következő növény számára is (Meena et al., 2018). Az *arbuskuláris mikorrhiza gombák* (AMF) a hasznos talajbióta egyik legfontosabb csoportjába tartoznak, szimbiotikus kapcsolatot hoznak létre a legtöbb szárazföldi növény gyökerével, beleértve a mezőgazdasági növények nagy többségét. Kiterjesztett gyöker-gomba hálózatot hoznak létre, tápanyagokat mobilizálnak és juttatnak a gazdanövényhez, növelik a növények biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni ellenálló képességét és befolyásolják a növények hasznos másodlagos anyagszertermékeinek szintézisét, hozzájárulva a biztonságos és jó minőségű élelmiszerek előállításához (Giovannetti et al. 2012; Bowles et al., 2017). Mindezen előnyökön túl jelentős szerepet játszanak a talaj szerkezetének kialakulásában, részt vesznek a talajmorzsák, az aggregátumok képződésében és a légköri szénmegkötéshez is hozzájárulnak (Frey, 2019; Gianinazzietal.2010).

A *talaj mikroflóráján* (a baktériumok és a gombák jelenlétén) túl a talajfaunának is nagy szerepe van a talajban végbemenő folyamatokban. Azzal, hogy a baktériumokon és gombákon táplálkoznak, hogy a növényi maradványokat feldarabolják és bedolgozzák a talajba, hatással vannak a mikrobiális biomasszára és aktivitásra. A protozoák baktériumokkal táplálkoznak míg a fonálférgek baktériumot, gombát és más fonálférget is fogyasztanak, így a talajtáplálékháló fontos elemei. A *giliszták* rendkívül fontos szerepet játszanak a növényi maradványok feldarabolásában, talajba dolgozásában, amely növeli a mikrobiális aktivitást (Nielsen et al., 2015).

A leírtak alapján rendkívül fontos, hogy a talaj minőségét nem csak kémiai és fizikai tulajdonságok határozzák meg, de a biológiai aspektusa is nélkülözhetetlen (Lehmann et al., 2020). A talajegészség (angolul: soil health) a talaj azt a képességét mutatja meg, hogy hogyan tud funkcionálni, mint létfontosságú élő környezeti elem az ökoszisztémában, amely közben fenn tudja tartani a növényeket, állatokat és az embereket (Lehmann et al., 2020). A fenntartható

talajgazdálkodásban a legnagyobb kihívás az ökoszisztéma-szolgáltatások megőrzése, miközben optimalizáljuk a mezőgazdasági hozamokat (Kibblewhite et al., 2008). A talaj egészsége négy fő funkció fenntartásától függ: *szén-dioxid átalakítása; tápanyagkörforgás; talajszerkezet fenntartása; valamint a kártevők és betegségek szabályozása*. E funkciók mindegyike különféle biológiai folyamatokhoz kapcsolható, amit az abiotikus talajkörnyezettel kölcsönhatásban lévő talajlakó szervezetek biodiverzitása biztosít (Kibblewhite et al., 2008).

Már 70 évvel ezelőtt is volt néhány neves agrár szakember, aki a talajbiológia fontosságát hangsúlyozta. Kemenes Ernő a Talajerőgazdálkodás című könyve (1959) első fejezeteit annak szenteli, hogy bemutassa a talaj élő mivoltát, és annak fontosságát, hogy a mezőgazdaság akkor lesz hatékony, ha együtt tud működni a talaj biológiai részével. Így fogalmaz: *„Itt tehát elsősorban az élők világával van dolgunk, és ha alkalmazunk is mechanikai vagy kémiai eszközöket, mindezeket tisztán a biológiai folyamatok hathatósabb elősegítése érdekében vesszük igénybe.”*. Kötete elején hangsúlyozza, hogy a talaj fizikai, kémiai és biológiai mivolta elválaszthatatlan kölcsönhatásban állnak egymással: *„E tulajdonságok tehát szoros összefüggésben álló, szinte oszthatatlan egységet képviselnek, melyek hatásában jut kifejezésre az a belső energia, amit talajerőnek nevezünk”*.

Több más szakember könyvében olvashatjuk a múlt századból, hogy a mezőgazdaság célja a talajtermékenység fenntartása, védelme (Manninger, 1957; Kemenes 1959, Kreybig 1951), amely még ma is felvilágosult szemléletnek mondható.

Kemenes megfogalmazta (1959), hogy a jó talajszerkezethez nélkülözhetetlen a mikrobák táplálékául *életfeltételeinek* szolgáló szervesanyag utánpótlása: *„...mennél több szervesanyag áll a mikroszervezetek rendelkezésére, annál intenzívebb lesz a morzsák felépítése... a talajszerkezet egyben dinamikusan változó állapotot is jelent, amelynek tartóssága a mikroszervezetek biztosításától függ.”*

2.2. Talajkímélő gazdálkodási módok

2.2.1. Az ökológiai gazdálkodás hatása a talajra

A konvencionális gazdálkodás elterjedése a külső input megnövekedett használatával (pl. műtrágyák és peszticidek) jelentős terméshozam növekedést, ugyanakkor nagyobb környezeti terhelést eredményezett, nagyban hozzájárulva a talajdegradációs folyamatokhoz (Mondelaers et al., 2009). Az ökológiai gazdálkodás gyakorlatai képesek ezeket a folyamatokat helyreállítani a külső inputok korlátozásával és a környezetbarát módszerek alkalmazásával, megfelelő mennyiségű termés megtermelése mellett, a talaj hosszútávú termékenységét fenntartani (Aulakh et al., 2022).

Az ökológiai gazdálkodás alapelvei a 20. század első éveiben fogalmazódtak meg, és a gazdálkodás minden terén tartalmazzák azokat az elveket, amelyek a természettel összhangban való gazdálkodást támogatják. Az (EU) 2018/848 rendelet (EU Öko rendelet) megfogalmazása szerint az ökológiai gazdálkodás legfőbb alapelvei:

- a természetes rendszerek és ciklusok tiszteletben tartása
- a talaj, a víz és a levegő állapotának, a növények és az állatok egészségének, továbbá az ezek közötti egyensúlynak a megőrzése és javítása,
- a külső források felhasználásának korlátozása (pl. tilos a géntechnológiával módosított szervezetek felhasználása),
- az ökológiai rendszereken alapuló biológiai folyamatok megfelelő tervezése és irányítása a gazdálkodási rendszeren belüli természeti erőforrások felhasználásával,
- a termelés során a helyi erőforrások és a természetes folyamatok előnyben részesítése
- az állatok magas szintű jólétének biztosítása a fajspecifikus igények figyelembevételével.

Számos kutatás igazolta, hogy az ökológiai gazdálkodás növeli a talaj termékenységet (Liebig et al., 1999; Mäder et al., 2012), az ökológiai gazdálkodás gyakorlatai: a szerves trágyázás, a diverz vetésforgó és a pillangós növények beillesztése által (Aulakh et al., 2022). Egy 2016-os összefoglaló cikk az addig megjelent publikációkat összegezve azt találta, hogy az ökológiai gazdálkodás jobb eredményeket mutatott az aggregátum stabilitás, a vízbefogadó képesség, a pH, a szervesanyag tartalom, a foszfor, a kálium, a mikrobiális biomassza és az enzimaktivitás tekintetében a konvencionális gazdálkodással összevetve (Sheoran et al., 2019). Benbi et al. (2018) magasabb szervesanyag tartalmat és biológiai aktivitást, valamint baktérium, gomba és aktinomicetes mennyiséget mért az ökológiai gazdálkodásban összehasonlítva a konvencionális rizs-búza táblákkal. Bobul'ská et al. (2015) nagy különbségekről számolt be az ökológiai és a konvencionális gazdaságok között a mikrobiológiai tulajdonságok tekintetében: 36%-kal magasabb enzimaktivitást, 65%-kal magasabb talajlégzést és 60%-kal magasabb mikrobiális biomasszát mértek az ökológiai gazdaságokban. Két lengyel kutatás 2020-ból magasabb enzimaktivitást tudott kimutatni az ökológiai gazdálkodásban a konvencionálishoz képest, az egyik hosszú távon (16 év), a másik már 3 év után szignifikáns különbséget jelzett az ökológiai gazdálkodásra való áttérés után. Egy friss publikáció 2023-ból azt közölte, hogy az ökológiai agrotechnika alkalmazása 8 év után nagy mértékű javulást eredményezett a talaj humusz, foszfor és kálium tartalmában (Belopukhov et al. 2023). Azonban van olyan kutatás, amely 21 év után enyhe csökkenést mutatott ki a szervesanyag tartalomban, az ökológiai gazdálkodás során (Fließbach et al., 2007). Más kutatás inkább bizonyos gazdálkodási gyakorlatokhoz köti a talaj javulását mintsem a gazdálkodási rendszerhez (pl. ökológiai, konvencionális vagy integrált gazdálkodási rendszer), amelyeket gyakrabban alkalmaznak ökológiai gazdálkodásban. Tovább az ökológiai gazdálkodás szabályozása által elindult az ökológiai gazdálkodás 'konvencionalizálása', amely kifejezés arra utal, hogy az ökológiai gazdálkodók között sokan csak a minimum előírásoknak felelnek meg, de azon felül nem fektetnek igazi hangsúlyt az elvek megvalósítására (Darnhofer et al., 2010). Így legtöbbször a talajjal kapcsolatos elvek is kimerülnek abban, hogy a tápanyagutánpótlás esetében kizárják a műtrágyákat.

A legtöbb kutatás arról is beszámol, hogy a termésátlagok alacsonyabbak ebben a gazdálkodási formában a legtöbb kutatás szerint (Ponisio et al., 2015). Az ökológiai gazdálkodásban a termésátlagok átlagosan 19,2%-kal alacsonyabbak, mint a konvencionális termésátlagok. Ennek legfőbb oka a trágyázás, a kártevők és kórokozók elleni védelem és a gyomszabályozás korlátozottabb lehetősége. Ebben a rendszerben a nitrogén kijuttatás és a kultúrnövény nitrogénigénye nincs összehangolva, mint a műtrágyázás alkalmazása során és a szerves nitrogén hatékonysága viszonylag alacsony a szintetikuséhoz képest (Kirchmann et al.

2008). Habár Aulakh et al. (2022) számos kutatást sorol fel tanulmányában, amelyekben az ökológiai gazdálkodási körülmények között javuló termésátlagokról számoltak be, ha megfelelő mennyiségű és minőségű szerves trágyát juttattak ki. Azt is megfogalmazta, hogy a termésátlag csökkenése nagyban függ a termesztett növénytől és az alkalmazott gazdálkodási gyakorlatoktól. Bár az ökológiai gazdálkodási rendszerekben a növények terméshozamának alakulásáról az előbbiek alapján nincs konszenzus, számos tanulmány kimutatta, hogy az ökológiai gazdálkodásban a termények minősége jobb a konvencionálisan termesztettekéhez képest (Worthington, 2001; Mader et al., 2007). Továbbá fontos, hogy az ökológiai gazdálkodás költség megtérülés szempontjából jobban teljesít az alacsonyabb ráfordítási költségek, az ökológiai árprémiumok és a felvehető támogatások miatt. Az ökológiai gazdálkodásban továbbá jellemző terménydiverzifikáció növeli a gazdasági ellenálló képességet (Aulakh et al., 2022), Ponisio et al. (2015) szerint pedig a terméshozam csökkenése is mérsékelhető a diverzifikáció által.

Van néhány újabb gazdálkodási irányzat, amely a talaj egészségének fenntartását, javítását tűzte ki célul. Ilyen például a *környezetkímélő mezőgazdaság* (angolul: conservation agriculture, CA), vagy a *regeneratív mezőgazdaság* (angolul regenerative agriculture, RA). Ezen irányzatok alappillére a talaj bolygatásának minimalizálása, a növényi borítottság és/vagy a növénymaradványokkal történő fedettség mértékének legalább 30%-ig történő fokozása, az élő gyökerek jelenlétének a növelése, a növényi diverzitás növelése (Busari et al., 2015, Madarász et al. 2016, Nugroho et al. 2023). A regeneratív mezőgazdaság ezeken felül az állattenyésztést is bevonja a mezőgazdasági rendszerbe, mint nélkülözhetetlen elem. Általában a növények és az állatállomány együttes jelenlétét szorgalmazza a talajminőség és a termékenység további javítása érdekében (Newton et al., 2020). A következőkben a bekezdésben felsorolt módszereket összesítő néven talajregeneratív módszernek fogom nevezni. Továbbá az angol '*soil management*' kifejezés után a *talajgazdálkodás*, vagy a *talajgazdálkodási gyakorlatok* kifejezést fogom használni, amikor nem csak művelésről szeretnék beszélni, hanem összességében olyan talajjavító módszerekről is, mint például takarónövény használata.

Az ökológiai gazdálkodás előnyeit tovább lehetne fokozni ezekkel a talajközpontú irányzatokkal kombinálva. Több kutatási eredmény szerint az ökológiai gazdálkodás kombinálása további fenntartható talajhasználati gyakorlatok pozitív hatást képes szinte azonnal érzékelhető módon kifejteni a talajok számos tulajdonságára. Cooper et al (2016), a művelés intenzitásának hatását vizsgálta ökológiai gazdálkodásban és megállapította, hogy a talajkímélő művelésnek meghatározó szerepe van a talajegészség növelésében. Egy 2021-es meta-kutatás (Crystal-Ornelas et al., 2021), arról számol be, hogy az ökológiai legjobb talajgazdálkodási gyakorlatok, úgy mint a szerves trágyázás, a takarónövények alkalmazása és a talajkímélő művelés, magasabb szervesanyag tartalmat és mikrobiális biomasszát eredményez. Az ökológiai gazdálkodóknak is kitűzött cél a talajaink további javítása és a gyors reziliencia a globális felmelegedés hatásaival szemben. Az ökológiai gazdálkodás gyakorlatában a minél több talajmegújító módszer alkalmazása tovább növelheti, javíthatja a talajok egészségi állapotát és a fenntartható gazdálkodást (Williams et al. 2020).

2.2.2. A talajkímélő művelés hatása a talajra

A *talajkímélő vagy csökkentett művelés* fogalma eltér a szakirodalom alapján. Egy megfogalmazás szerint a meghatározás az, hogy a szármaradvány legalább 30%-át a felszínen hagyják a főnövény lekerülése után a következő kultúráig, annak érdekében, hogy a víz által okozott talajeróziót csökkentsék. Más megfogalmazás szerint minden olyan törekvés a talajművelésben, amely a talajerózió csökkentése érdekében történik az már talajkímélő művelés (Derpsch, 2003). Ez jelenthet annyit, hogy valaki csupán elhagyja a mélyszántást. Európában ez a „lazább” fogalom elterjedtebb, míg Amerikában a talajkímélő művelés fogalmát szigorúbb feltételek mellett használják és sok esetben a no-till rendszert értik alatta Derpsch, (2003). A talajkímélő művelés mindenképp a művelés intenzitásának csökkenését feltételezi a hagyományos mélyszántással szemben, amely nagy talajbolygatással és a szármaradványok teljes beforgatásával jár (Reicosky, 2015).

Az elmondottak alapján sokféle megoldás működik a talajbolygatás csökkentésére és a talajkímélő művelésen belül is több irányzat jelenik meg. Ilyen például a *minimum tillage* irányzat, amely nem sokban tér el a conservation tillage-től, tulajdonképpen a lehető legkisebb talajbolygatást, összekapcsolt műveleteket jelent. Létezik *strip-tillage* és *ridge-tillage*, előbbi esetén sávos művelés történik, ahol a vetősáv talaját lazítják csak és a tarlómaradványokat a sorközbe tolják, utóbbi esetén keskeny bakhát-sorokat képeznek és abba vetik el a magokat. Továbbá a csökkentett művelés legszélsőségesebb verziója a *no-tillage* rendszer, ahol egyáltalán nem művelnek, egy speciális úgynevezett direktvető géppel nyitják meg a talajt a mag számára. (Mannering és Fenster, 1983; Reicosky, 2015). Ezek a művelési rendszerek az Egyesült Államokból származnak, ahol a művelés ezen alternatívái már nem számítanak ritkaságnak (Derpsch, 2003). 2017-ben 21%-ra becsülték a no-till rendszerek arányát a művelt területek tekintetében. Azonban a legnagyobb arányban Dél-Amerikában terjedt el a művelés nélküli növénytermesztés. Brazíliában a művelt területek 61%-a no-till rendszerben működik (Fuentes-Llanillo et al., 2021). Elterjedésük legfőbb oka az idő és költség-megtakarítás és emellett a talajerózió csökkenése.

A talajkímélő művelésről és annak pozitív hatásairól a talajra már az 1970-es években található tudományos írás (Baeumer & Bakermans, 1974; Laflen et al., 1978; Unger és McCalla, 1980). Magyar agrárszakemberek is már az 1910-es években kísérleteztek a sekély talajműveléssel. Manninger G. Adolf kísérletei és tapasztalatai alapján megírta *A talaj sekély művelése* című könyvét, amely példaértékű lehet a mai talajművelés tudományában is. Manninger a szántás helyett más sekélyebb és kímélő művelési módokat szorgalmazott kultivátor vagy tárcsa segítségével. Emellett azonban fontosnak tartotta, hogy időnként sor kerüljön a talaj mély lazítására is (Manninger, 1957; Bádonyi, 2006).

Számos kutatás igazolja a talajkímélő művelés pozitív hatását a talaj fizikai, kémiai és biológiai paramétereire. Busari et al. 2015-ös meta-analízise alapján a talajfizikai paraméterei, mint a talaj vízmegtartó és vízáteresztő képessége javul a talajkímélő műveléssel művelt talajokon, amely a megnövekedett szervesanyagtartalomnak a tarlómaradvány takarásának és a gilisztatevékenységből eredő járatoknak köszönhető. Egy másik meta-analízis alapján (Blanco-Canqui és Ruis, 2018), amely *no-till* és csökkentett művelést hasonlított össze hagyományos műveléssel elmondható, hogy a *no-till* általában növeli a talaj nedves aggregátumstabilitását, a

vízbefogadóképességét és az elérhető, felvehető víztartalmát. Ez a kutatás azt állapította meg, hogy a csökkentett művelés talajra gyakorolt hatása a hagyományos és a no-till között van valahol, tehát a művelést minél inkább elhagyjuk, annál pozitívabb hatást gyakorlunk a talaj paraméterekre. A tömörödés csökkenése és a szerkezeti javulás a no-till esetében csak hosszútávon mutatkozik és a szervesanyag felhalmozódás a talaj legfelső (5-10 cm) részében található, az alsóbb rétegek szénkészleteire nincs hatással (Blanco-Canqui és Ruis, 2018; Haddaway et al., 2017).

Egy 2015-ös kutatás (Mangalassery et al.), amely a zero tillage szénmegkötő képességét vizsgálta azt mutatta ki, hogy a 6 éve zero tillage-el művelt talaj 9%-kal több szervesanyagot és 30%-kal több mikrobiális biomasszát tartalmazott, magasabb enzimaktivitást, alacsonyabb széndioxid kibocsátás és talajlégzés mellett, amely egy hatékonyabban funkcionáló mikrobiális közösséget jelez a zero tillage gyakorlat mellett. A pozitív példák ellenére van olyan kutatás is, amely 25 év csökkentett művelése mellett, nem mutatott ki pozitív hatást a talaj szerkezetét illetően (Schlüter et al. 2018).

Magyarországon a talajkímélő művelés igen kis százalékban van jelen, habár Madarász et al., 50%-ra becsüli a kímélő művelés valamilyen formájának jelenlétét Magyarországon, egy korábbi 2006-os értekezés szerint Magyarország 10%-on áll a kímélő művelés tekintetében, a no-till művelés pedig 0 %-on (Kertész, 2014). Birkás Márta munkássága a kímélő talajműveléssel kapcsolatban sokat hozzatott ezen művelési rendszer elterjedésének növelésében Magyarországon. Könyveiben és publikációiban arra világít rá, hogy a hagyományos talajművelés bizonyos elemei kedvezőtlenül hatnak a talaj minőségére. A talajszerkezet romlását és az üzemanyagból adódó költségeket csökkenthetjük a műveletek összekapcsolásával, vagy sok esetben, ahogy már korábban említésre került főlegesen műveleteket elhagyhatunk (2006, Birkás). Birkás szerint a forgatás nélküli talajművelő rendszerek nagy lehetőséget rejtenek, mivel alacsony input felhasználásával képesek megőrizni a talaj termékenységét és nedvességét. Nedvességmegőrzés szempontjából, ökonómiai mutatói szerint kedvezőbbek a hagyományos műveléssel szemben, ami kulcsfontosságú szereppel bír a változó klíma mellett (2006, Birkás).

A Rátonyi féle kísérlet (2007) vizsgálatai is rámutattak arra, hogy a környezetvédelmi szempontok és az ökonómiai megfontolások egyaránt a talajkímélő művelési módok és eszközök alkalmazásának igényét vetik fel. *„A természeti és a termesztési körülményekhez egyaránt igazodó művelés lehetővé teszi, hogy a talaj fizikai állapota a kultúrnövény igényének és a talaj védelmének egyaránt megfeleljen. A művelési beavatkozások számának csökkentésével, a nem feltétlenül szükséges beavatkozások elhagyásával a talajt ért mechanikai károsodások mérsékelhetők.”* (Rátonyi, 2007) A kísérletben hagyományos művelést, tavaszi sekély művelést, tárcsás lazító művelést és direktvetéses módszert hasonlítottak össze. Nedvességmegőrzés tekintetében a direktvetésben mért nedvességtöbblet a három évet együttesen értékelve a hagyományos technológiához képest mintegy 40 mm csapadéknak felelt meg. A talaj nedvességállapota igazolta a forgatás nélküli talajművelés (tavaszi sekély tárcsázás) kedvezőbb nedvességmegőrző hatását, a hagyományos ekére alapozott műveléssel szemben (Rátonyi 2007). A direktvetés nagyobb nedvessége egyrészt a felszíni növénymaradvány-borítottságból következő nedvességvisszatartásnak, másrészt a nedvességvesztést okozó szántás elhagyásából adódik (Gyuricza, 2014).

Magyar kutatás igazolja, hogy a forgatás nélküli módszerek egyértelműen kevesebb szénvesztéssel járnak, ezek közül is a legkedvezőbb a szénkímélés szempontjából a direktvetés. A talaj humusztartalmát vizsgálva a 2006-ban mért értékek között, a talaj felső 10 cm rétegében a különböző kezelések között szignifikáns eltérést tapasztaltak. A szántásos kezelés humusztartalma statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a többi kezelésben mért értéknél. A direktvetés esetében tapasztalt humusztartalom pedig szignifikánsan magasabb volt a lazítással kombinált tárcsázás és a kultivátoros művelésben kapott értéknél. (Bencsik, 2009)

Egy másik magyar 17 éves tartamkísérletben hagyományos mélyszántásra alapozott művelési rendszert hasonlítottak össze talajkímélő műveléssel (ez esetben: forgatás nélküli talajművelési rendszer, csökkentett talajművelési menetszám, minimum 30 % szármagmaradvány felszínen hagyása) és azt állapították meg, hogy a teljes szervesanyag tartalom a talaj felső 15cm-ben szignifikánsan növekedett, emellett jelentős volt a biológiai aktivitás növekedése és a talaj szerkezetének javulása (Juhos et al., 2024).

A talajkímélő művelés pozitív hatása a termésátlagok alakulására már nem egyértelmű. Achankeng és Cornelis (2023) tanulmánya szerint Európában a no-till 5,1 %-kal csökkentette a terméshozamokat a hagyományos műveléssel szemben, míg a strip-till és a ridge till 5%-kal növelte. Pittelkow et al (2015) kutatása alapján a no-till összességében csökkent a termésátlagot (5,7 %-a), de vannak esetek, amikor nem csökkent a termésátlag és olyanok is, amikor növeli a termésátlagot. Egy magyar kutatásban a mélyszántás elhagyása és a váltás talajkímélő művelésre az első három év után terméskiesést eredményezett (-8,7 %-kal), azonban a következő hét évben 12,7 %-kal növelte a termésátlagokat. (Madarász et al., 2016). Van den Putte et al. (2010) 4,5 %-os átlagos termésátlag csökkenésről számol be a talajkímélő műveléseket összeségében véve. Ha csak a no-till rendszereket nézték akkor ez a csökkenés 8,5 %-os volt. A csökkentett talajművelés esetében csak bizonyos növényi kultúrákban figyeltek meg termésátlag csökkenést, úgy mint a kukorica és őszi búza. Más kutatás is alátámasztotta, hogy a talajkímélő művelés negatív hatása a terméshozamokra a termesztett kultúrán is múlik (Miner et al 2020) Mindenesetre az irodalmak alapján egyértelművé válik, hogy a talajkímélő művelés egy hosszútávú befektetés, mivel az átállás valamilyen másik gazdálkodási rendszerre rövidtávon termés csökkenéshez vezet.

Összességében ennek ellenére elmondható több irodalom alapján, hogy mivel a talajkímélő rendszerek *jobb vízáteresztő képességet eredményeznek*, és jobban megőrzik a talaj nedvességtartalmát, ez segít leküzdeni a szezonális száraz időszakokat. Így a talajkímélő rendszerek pozitív hatással vannak a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásra és a mezőgazdasági rendszerek ellenálló képességére (Haddaway et al., 2017; Miner et al. 2020). Több kutatás tárgyalja, hogy a művelés csökkentése kiegészítve más talajegészséget szolgáló gyakorlattal megnövelheti annak pozitív hatását a talajra és akár áthidalható lehet a termésátlag csökkenése is (Pittelkow et al 2015; Blanco-Canqui és Ruis, 2018; Miner et al 2020).

Blanco-Canqui és Ruis (2018) meta kutatása alapján azt a következtetést vonta le, hogy a talajkímélő művelés nem javítja a talaj összes fizikai tulajdonságát a hagyományos műveléshez képest. A talajművelés egyszerű elhagyása és a maradékok talajfelszínen hagyása nem tűnik elegendőnek a talaj fizikai tulajdonságainak javításához minden talajban. A talaj tulajdonságainak javítása kímélő gyakorlattal gyakran csak a talaj legfelső rétegére korlátozódik, valószínűleg a folyamatos szervesanyag takarás miatt. A talajkímélő rendszerek komplexebb tétele más

talajregeneráló gyakorlattal a kímélő művelés teljesítményének javítására szolgáló stratégia lehet. Az olyan kísérő gyakorlatok, mint a takarónövények vetése, istállótrágya kijuttatása, diverzebb vetésforgók és az évelők bevonása, a kímélő művelés lehetséges kísérő gyakorlatai lehetnek. Számos tanulmány kimutatta, hogy a kímélő művelés komplexitásának növelése javíthatja a talaj tulajdonságait azokhoz a talajkímélő gyakorlatokhoz képest, amelyeket önmagukban alkalmaznak (Blanco-Canqui et al., 2011a, 2011b; Abdollahi and Munkholm, 2014; Olson et al., 2014)

2.2.3. Az ökológiai gazdálkodás és a talajkímélő művelés kapcsolata

Az ökológiai gazdálkodás és a kímélő talajművelés közötti sikeres szinergia a legjobb agroökológiai előnyökkel járhat, mivel minimalizálja mind a szintetikus vegyszerek, mind az intenzív talajművelés negatív hatásait a talajra (Littrell et al., 2021). Mivel az ökológiai gazdálkodás javítja a talaj minőségét és a talaj szén tartalmát, az ökológiai gazdálkodás körülményei között a csökkentett talajművelés tovább növelheti ezt a potenciált (Krauss et al., 2022).

A diverz vetésforgó és szervesstratégázás meghatározó alapkőve az ökológiai gazdálkodásnak, azonban a csökkentett művelés kevésbé elterjedt és elfogadott. (Bàrberi, 2006) A művelés több szempontból is fontos ökológiai gazdálkodásban: a tarlómaradványok leforgatás megkönnyíti azok lebontását és tápanyagot biztosít a következő főnövény számára. A tarlómaradvány leforgatása feltehetően néhány talajból fertőző kórokozó fertőzési esélyét is csökkenti (Liebman, 2000). A legfontosabb szerepe azonban a gyomszabályozásban van (Peigné et al., 2007). Habár a gyomszabályozás lehetséges gyomirtók nélkül, ökológiai gazdálkodásban a csökkentett művelés kihívások elé állítja a gazdákat és a termésátlagokat is csökkenheti (Cooper et al., 2016). Az említett kihívások okán a talajkímélő művelés lassabban adaptálódik az ökológiai rendszerekbe (Mäder and Berner, 2012).. Kevés kutatás áll rendelkezésre arról, hogy milyen arányban alkalmaznak az ökológiai gazdálkodók kímélő művelést, azonban egy németországi kutatásban a résztvevő ökológiai gazdaságok 6 %-a művelt szántás nélkül és 22 %-a művelt sekélyen (15 cm alatt) (Wilhelm és Hensel, 2011). Egy 2015-ös kutatás (Peigné et al.) arról számolt be, hogy a kímélő talajművelés módjának rendkívül sokszínű megoldásait alkalmazzák ökológiai gazdálkodásban Európában. A talajkímélő művelést folytató ökológiai gazdálkodók 89 %-ának esetében csak annyiban merült ki a kímélő művelés, hogy olyan művelést folytatott, amely a megszokott művelési mélységnél sekélyebb. 27 % folytatott csupán no-till művelést.

Littrell et al. (2021) kísérletében ökológiai gazdálkodás gyakorlatai mellett 10 évig alkalmaztak kímélő talajművelést, amely nem volt hatással a talaj aktív és teljes széntartalmára, azonban a száraz aggregátumok méretelosztására és nedves aggregátum stabilitásra szignifikánsan pozitív hatást gyakorolt. Puerta et al., (2018) kutatásában az ökológiai gazdálkodás gyakorlatai kombinálva csökkentett talajműveléssel 4 év után szignifikánsan növelték a talaj aggregátum stabilitását a talaj felső 6 cm-ben összehasonlítva az ökológiai gazdálkodást alkalmazva önmagában és más konvencionális műveléssel. Az Emmerling féle kutatás (2007) eredménye alapján a csökkentett vagy talajkímélő művelés az ökológiai gazdálkodásban pozitív hatással volt a talaj szervesanyag tartalmára, a mikrobiális biomasszára és aktivitásra. Ugyanis 4 évvel a szántás elhagyása után szignifikánsan magasabb szervesanyag tartalmat és biológiai aktivitást mértek a talaj felső 15 cm-ben. Krauss et al. (2022) kutatásában, ahol Nyugat Európában több országban 9

helyen hasonlították össze a szántásos és a szántás nélküli ökológiai gazdálkodásokat, azt találták, hogy a talaj legfelső 15 cm-ben átlagosan 20,8 %-kal több széntartalmat eredményezett a kímélő művelés. A talaj mélyebb rétegeit is vizsgálták és 50 cm-ig enyhe csökkenés volt megfigyelhető a szénkészletekben a kímélő művelésben, azonban 50 cm után megint magasabb széntartalom volt megfigyelhető a művelés csökkentésével. Berner et al. kísérletében (2008) különböző termesztési technikákat hasonlítottak össze ökológiai gazdálkodásban, úgy, mint a művelés, a trágyázás, és a biodinamikus preparátumok alkalmazása. A kísérlet eredmény az volt, hogy csak a csökkentett művelés (szántás helyett csak tárcsa használata) eredményezett egyedül szignifikánsan jobb eredményeket a talaj szervesanyag tartalmában, mikrobiális biomasszájában és enzimaktivitásában a felső 15 cm-es rétegében. Az említett kutatások alapján elmondható, hogy a talaj szerves széntartalma, a mikrobiális aktivitás és a talaj szerkezete gyakran javul a felső talajrétegben a szántott talajokhoz képest csökkentett művelés mellett.

Ezen pozitív eredmények mellett azonban számos kutatás arról számol be, hogy a *termésátlagok csökkennek* talajkímélő művelés mellett ökológiai gazdálkodásban. Az említett Berner et al. (2009) kísérletben az őszi és a tönkölybúza termésátlaga 14- és 8 %-kal csökkent. Cooper et al (2016) meta-analíziséből kiderül, hogy valóban összességében a talajművelés csökkentése 6,7 %-os termésnövekedést eredményezett, azonban ez nem volt szignifikáns eltérés, ha csak a sekély forgatás nélküli művelést hasonlították össze a hagyományos szántásos műveléssel. Peigné et al. 2015-ös tanulmányában említ eseteket, ahol a kímélő művelés csökkentette a termésátlagokat, de olyan eseteket is, ahol nem csökkentette vagy növelte. Azt azonban megállapította, hogy no-till alkalmazás esetében a terméskiesés nagyobb volt a vizsgált gazdaságokban, akár 75 %-kal is csökkent a kukorica termésátlaga a szántásos műveléshez képest.

Habár sok kutatás bizonyítja a *kímélő talajművelés pozitív hatásait* a talajra ökológiai gazdálkodásban, beilleszthetőségét sok nehezítő tényező befolyásolja, amelyek még nagyobb kihívást jelentenek, mint konvencionális gazdaságokban (Peigné et al., 2007). A már említett termésnövekedések 3 oka lehet. A megnövekedett gyomnyomás, a talajtömörödés és a tápanyagok gyengébb mineralizálódása. Talán a legfontosabb limitáló tényező, hogy a *gyomszabályozás* legfőbb eszköze ökológiai gazdálkodásban a talajművelés. Több kutatás ír arról, hogy a talajkímélő művelés nagyobb gyomnyomást eredményezett, ami hatással volt a terméshozamokra is (Peigné et al 2015; Mader et Berner, 2012) a szántás hatékony módnak mutatkozik a gyomokkal szemben, a művelések csökkentése vagy azoknak teljes elhagyása egyértelműen nagyobb gyom jelenléthez vezet (Cooper et al., 2016). A talajtömörödést illetően Peigné et al (2015) tanulmányában azt olvashatjuk, hogy több helyen, ahol elhagyták a szántást talajtömörödés figyelhető meg az első pár évben a felső rétegekben, ahova a művelés nem ér el, azonban ez 5-6 éven belül ez a jobb szerkezet és a gilisztatevékenység segítségével megszűnik. A gyengébb mineralizáció összefüggésben van az átmeneti talajtömörödéssel. A hagyományos művelés esetében a talaj legalább 20 cm-es átkeverését megkönnyíti az aerob mikroba tevékenységet és a mineralizációs irányába tolja el a folyamatokat, amely rövid távon több és elérhetőbb nitrogént biztosít a növények számára, azonban hosszú távon az elraktározott tápanyagkészleteket használja el. Ez a folyamat vezet az intenzíven művelt talajok szénkészletének csökkenéséhez is (Peigné et al., 2007). Így habár a kímélő művelés esetében megnövekedett szervesanyag tartalom figyelhető meg, az a legfelső rétegekben összpontosul.

Ahogy azt a korábbi fejezetben általánosan tárgyaltuk, úgy ökológiai gazdálkodás körülményei között is igaz, - sőt talán még fontosabb is -, hogy a kémelő művelés összekapcsolása más talajegészséget szolgáló gyakorlatokkal meghatározó lehet, hiszen az imént felsorolt kihívásokat képesek áthidalni. Egy 2021-es meta-analízis (Crystal-Ornelas et al., 2021), a legjobb gazdálkodási gyakorlatok (angolul: best management practices) hatását vizsgálta a talaj szervesanyag tartalmára és mikrobiális biomasszájára ökológiai gazdálkodás körülmények között. A legjobb gazdálkodási gyakorlatokhoz azokat a gazdaságokat sorolta, akik több talajregeneráló technikát alkalmaztak, úgy, mint kémelő művelés, szervesanyag utánpótlás, takarónövények alkalmazása. Azt állapította meg, hogy legjobb gazdálkodási gyakorlatok 18 %-kal növelték a talaj szervesanyag tartalmát és 30 %-kal a mikrobiális biomasszát. A takarónövények hatása csak egy bizonyos idő után fejtette ki pozitív hatását ezekre a paraméterekre (kb 5 év után). Egy svéd kutatás (Williams et al., 2020) hasonlóképpen azt vizsgálta egy meta-analízisben, hogy a legjobb talajgazdálkodási gyakorlatok együttesen alkalmazva milyen hatást gyakorolnak több talajegészség paraméterre. Azt találta, hogy azok a területek, amelyeken a legtöbb talajregeneratív gyakorlatot végeztek, a talajegészség legmagasabb szintjét mutatták: magasabb aggregátum stabilitást, aktív széntartalmat, talajlégzést, és szervesanyag tartalmat.

2.3. A növényi diverzitás növelése és fontossága a mezőgazdaságban

A biodiverzitás növelés a mezőgazdaságban jótékony hatást gyakorolhat a talaj minőségére (Cappelli et al. 2022; Yang et al., 2020). Sokféle módja van a diverzitás növelésének az agrár területeken, úgy, mint a diverzebb vetésforgó, takarónövények, köztes növények alkalmazása. (Njira és Nabwami, 2013; Yang et al., 2020). A talaj feletti biodiverzitás növelés hatással van a talaj biodiverzitására, befolyásolja a mikrobiális közösségek összetételét (D'Acunto et al., 2018; Cappelli et al., 2022).

Talán a leginkább tanulmányozott mechanizmus, amelyen keresztül a növények befolyásolják a talaj mikrobiális közösségét, a gyökérváladékok (Badri és Vivanco, 2009; Bais et al., 2008; Rovira, 1969). A gyökérváladékok C-ben gazdag vegyületeket tartalmaznak, köztük aminosavakat, szerves savakat, cukrokat, fenolokat, másodlagos metabolitokat és fehérjéket, amelyek leginkább a gyökérszőrökből és közvetlenül a behatoló gyökércsúcs mögötti sejtekből ürülnek ki (Badri és Vivanco 2009). A gyökérváladékok számos rhizoszféra mikroorganizmust vonzanak és tartanak fenn, beleértve az arbuszkuláris mikorrhiza (AM) gombákat (Akiyama et al. 2005) és a Nitrogén-fixáló baktériumokat (Long, 2001). A gyökérváladékok azonban vonzzák a gazdaspecifikus kórokozókat is (Nicol et al. 2003), így pozitív és negatív talaj-visszacsatoláshoz is vezethetnek. Mivel a váladék összetétele, mennyisége és szezonaritása a gazdanövény azonosságától függ (Broeckling et al., 2008; Schweitzer et al., 2008), a sokféle növényt magában foglaló takarónövénynek képesnek kell lennie arra, hogy a gyökérrel összefüggő mikrobák nagyobb diverzitását tartsa fenn, ami magasabb általános haszon a növények számára (Bardgett és van der Putten 2014; Garbeva et al. 2004a).

A legkézenfekvőbb módja a diverzitás növelésének a diverzebb vetésforgó kialakítása. Ez növeli a talajtermékenységet, a tápanyag hasznosulást és lerövidíti a talajból származó kórokozók életciklusát (Shah et al., 2021, Peralta et al 2018). Meghatározott vetésforgók hatással vannak a talaj mikrobiális aktivitására és anyagcsere-diverzitására, ami hozzájárulhat a talaj aggregátumok

képződéséhez és a talaj egyéb tulajdonságaihoz, amelyek szorosan összefüggnek a tápanyagkörforgással is (D'Acunto et al., 2018). Egy meta-analízis szerint, ha csak egy növényrel is többet illesztünk be egy monokultúrába a talaj szén tartalma 3,6 %-kal nő és a teljes nitrogén tartalma pedig 5,3 %-kal. Ha takarónövény is van a vetésforgóban az átlagosan 8,5 %-kal növeli a széntartalmat, 12,8 %-kal a nitrogén tartalmat és 20,7 %-kal a mikrobiális biomasszát (McDaniel et al., 2014).

A pillangós virágú növények beillesztése a növénytermesztési rendszerbe számos előnnyel jár (Rani et al., 2018). A nitrogénkötésnek köszönhetően a pillangósok nemcsak a vetésforgóban lévő többi növény terméshozamát javítják, hanem más fajokhoz képest nagyobb C-megkötési potenciállal rendelkeznek, így a pillangósok hozzájárulnak a talaj egészségéhez és a humuszgyarapodáshoz (Kumar et al., 2018).

Amellett, hogy a termesztett főnövények diverzitását növeljük, hozzáadhatunk a rendszerünkhöz segéd-növényt is (angolul service crop). Ezalatt minden olyan növényt értünk, amelyet nem a termés miatt termesztünk, hanem a talajra, és a főnövényre gyakorolt jó hatása miatt. A segédnövény vetésforgóba illesztésének egy módja, ha két főnövény közötti időszakban kerül elvetésre. Ezeket a növényeket takarónövénynek fogom nevezni a következőkben az angol *cover crop* megnevezés után. Ez nem egyenlő a zöldtrágyázással, amely fő funkciója a tápanyagutánpótlás és leforgatásra kerül. Továbbá nem egyenlő a Birkás Márta által védőnövénynek nevezett növényrel, melynek angol nyelvű megfelelője a catch crop és a nitrát kimosódás megakadályozása céljából vetik (Hansen & Djurhuus, 1997). A takarónövények alatt minden olyan előnyös hatású vetett növényt értünk, amely maradványa mindig a felszínen és a felszín közelében marad, utánozva a természetes folyamatokat.

A takarónövény termesztés bevonása a mezőgazdaságba többszörös előnnyel jár. A takarónövények a fedetlenül maradt, csupasz tarló helyett javasoltak általában a tél során, csökkentik a talajeróziót és a tápanyag-kimosódást, segítik a jobb nitrogén hasznosulást, megőrzik a talajnedvességet, javítják a talaj fizikai paramétereit, gyomelnyomó hatásuk van, visszaszoríthatják a betegségeket és a kártevőket, fenntartják a talaj termékenységét, és növelik a biológiai sokféleséget (Smith et al. 2019; Snapp et al. 2005; Fageria et al., 2005). A takarónövények segítenek csökkenteni a talajra hulló esőcseppek kinetikus energiáját, csökkentik a talajfelszínről történő párolgást, megőrzik az öntözésből és a csapadékból származó nedvességet, valamint megőrzik a talaj nedvességtartalmát a következő növények számára (Sharma et al., 2018). A gyomnövények esetében konkurenciát jelentenek a fényért, a vízért és a tápanyagért folytatott küzdelemben, ráadásul allelopatikus anyagokat bocsáthatnak ki, amelyek gátolják a gyomok növekedését (Cordeau et al., 2015; Masilionyte et al., 2017).

Egy 2020-as összefoglaló tanulmány alapján azt találta, hogy a takarónövények összességében 33 %-kal növelték a talaj makropórusait, 629 %-kal növelték a talaj vízbefogadó képességét, amely 96 %-kal csökkentette a talajeróziót (Haruna et al., 2020). A takarónövények továbbá potenciális eszközei lehetnek a légköri szén-dioxid megkötésének, amely által mérséklük a globális felmelegedés szintjét (Fageria et al., 2005; Seitz et al., 2023). A kutatások ugyanakkor megoszlanak arról, hogy a takarónövények növelik-e ténylegesen is a talaj szervesanyag tartalmát (Camarotto et al., 2020). Tizenhét amerikai tanulmány alapján az derült ki, hogy nincs egyértelműen kijelenthető pozitív hatása a takarónövényeknek a talaj szervesanyag-tartalmára,

legalábbis 10 éven belül biztosan nem (Anuo et al., 2023). Ezt igazolta Anuo saját kísérlete is, amelyben öt évi takarónövény-alkalmazás nem volt elég arra, hogy változás legyen megfigyelhető a talaj szén tartalmában. Ez összhangban van Crystal-Orleans et al. 2021-es megállapításával, miszerint 5 évre minimum szükség van ahhoz, hogy mérhető legyen a különbség. Feng et al (2021) ugyanezt 6 év elteltével valószínűsíti.

Számos tanulmány tárta fel a takarónövény-termesztésnek a talaj mikrobiomjára gyakorolt hatását, bizonyítékokat találva olyan előnyökre, mint a megnövekedett mikrobiális biomassza (Daryanto et al. 2018; Kim et al., 2020), enzimaktivitás (Chavarria et al., 2016) vagy a mikroorganizmusok megnövekedett taxonómiai diverzitása (Vukicevich et al., 2016). Kim et al. (2020) meta-analízise alapján a 13 vizsgált mikrobiológiai paraméter közül, mindegyik javult a takarónövények alkalmazásának hatására. Mind a négy mennyiségi mutató nagy aránnyal jelezte az eltérést (14,5–40,7 %). Chavarria et al. kutatásában az enzim-aktivitásban (DHA, FDA is) már két év után kimutatható volt a növekedés. Thapa et al. 2021-es kutatásában 30-40 %-kal volt nagyobb az összes mikroba-mennyiség takarónövény használatával összehasonlítva azzal, ahol nem alkalmaztak takarónövényeket.

A takarónövények alkalmazása hatással lehet az arbuszkuláris mikorrhiza gombák (AMF) kolonizációjára is a következő főnövény gyökérrendszerében, ami annak egyéb élettani tulajdonságaira is kedvező hatással van (García-González et al., 2023; Bowles et al., 2017). Bowles et al. (2017) kutatásában a kevésbé intenzív talajművelés és a téli takarónövény használat 30 %-kal növelte a következő főnövény gyökereinek AMF-kolonizációját. Az AMF kolonizációt a takarónövény típusa és a talajművelés típusa határozta meg leginkább, ami arra utal, hogy a gazdálkodók optimalizálhatják a takarónövény termesztést a megfelelő talajművelés és takarmánynövény fajok kombinációjával, ahhoz, hogy leginkább fokozzák az AM gombák képződését. A legjobb kombinációnak a no-till gyakorlat volt és pillangós fajok beillesztése a takarónövény keverékbe (Bowles et al 2017). A takarónövények hatással vannak a nematoda populáció mennyiségére és összetételére is (Ito et al., 2015.)

Több tanulmány foglalkozik azzal, hogy a különböző fajok különböző módon hatnak a talaj paramétereire és a takarónövény faj megválasztásán múlhat annak hatásossága (García-Gonzalez et al) A takarónövény faj megválasztásakor fontos szempont, hogy milyen a tápanyagvisszatartása, avagy mennyi tápanyagot tud felvenni, amely a főnövény számára könnyebben felvehető formába kerül ezáltal és nem megy veszendőbe a kimosódás által (De Notaris et al., 2018). Néhány kutatás azt feltételezi, hogy a különböző takarónövény fajok keverékekben való kombinálása fokozhatja a takarónövény nyújtotta előnyöket. Több kutatás számolt be arról, hogy növelheti a következő főnövény termőképességét, csökkentheti a N kimosódást és fokozhatja a talajban terjedő kórokozók visszaszorítását (Barel et al., 2018; Finney et al., 2017; Tribouillois et al., 2016; Vukicevich et al., 2016). Engedal et al. 2023-as kutatásában a takarónövény keverékek mutatták a legmagasabb összes szén felvételt és általában magasabb vagy hasonló nitrogén visszatartási potenciált, mint ugyanazok a növények egyedül vetve. Valamennyi takarónövény-kezelés képes volt csökkenteni a talaj ásványi N-tartalmát (0-1,5 m), a retek mutatta a legnagyobb N-kimosódást csökkentő potenciált. A takarónövény-keverékek általában a négy fő (nem fás szárú) funkciós csoport (nevezetesen a C3 és C4 fűfélék, pillangós virágúak és nem pillangós növények) keverékéből állhatnak. A különböző funkcionális

tulajdonságokkal rendelkező növények gyakran jól fejlődnek együtt, mivel időbeli és térbeli elhelyezkedésük különbözik (Roscher et al. 2013). Hasonlóképpen, a növényi funkcionális csoportok nagyobb változatossága a talajmikrobák számára is különböző élettereket biztosítanak, amely sokféle mikroba populáció jelenlétét eredményezi. Tehát egy nagyobb funkcionális diverzitású takarónövény keverék nagyobb diverzitású mikrobapopulációt eredményez, amely például sikeresebben lép fel a betegségek visszaszorításában (Vukicevich et al., 2016). Több forrás szerint, a nagy fajgazdagságú keverékek helyett javasolt inkább egymást kiegészítő tulajdonságokkal rendelkező fajok összeválogatása (Blesh, 2018; Finney and Kaye, 2017; Engedal et al., 2023). A pillangós alapú takarónövény keverékek magasabb biomasszát hoznak létre, mint a keveréket tartalmazó fajok önmagukban vetve (Engedal et al., 2023).

Annak ellenére, hogy a takarónövények beillesztése számos előnnyel jár, alkalmazásuk még sem kellően elterjedt a gazdálkodók körében (Seitz et al., 2023). Ennek legfőbb oka, hogy a takarónövények elvetésének optimális ideje pont a legmelegebb nyári időszakra esik, amely veszélyezteti a kelés sikerességét. Továbbá a gazdálkodók félnek attól, hogy a takarónövények csökkenthetik a talajnedvességet a következő főnövény kárára (Seitz et al., 2023). A vízellátottságra gyakorolt negatív hatások esetenkénti előfordulása azonban kiküszöbölhető, ha a takarónövény télen lefagy, vagy késő ősszel terminálják, és talajtakaróként a táblán hagyják (Kaye és Quemada 2017; Meyer et al. 2020). További visszatartó tényező a takarónövényekhez kapcsolódó többletkiadás, a know-how hiánya és az előnyök érzékelésének hiánya (Smith et al., 2019).

A *segédnövények* alkalmazásának másik módja a kettős termesztés, ahol a segédnövény a főnövénnel részben vagy teljesen egy időben kerül elvetésre (angolul intercropping). Kettős termesztés esetében két vagy több fajt természetnek egyidejűleg ugyanazon a területen, és ezek biológiai kölcsönhatásba léphetnek egymással (Njira et Nabwami, 2013). Három különböző módszer van a kettős termesztés megvalósítására. Az egyik a rávetés, ahol fő termést adó növény fejlődésének valamelyik szakaszában vetik el a második növényt. Ilyen eljárás például, ha az őszi búzára vagy rozusra tavasszal vetnek vörösherét, majd a búzát vagy a rozst betakarítják, a vöröshere pedig a területen marad. Másik lehetséges mód az alávetés, ahol a segéd növény a fő termést adó növénnel egy időben kerül elvetésre. Például a tavaszi árpát a vörösherével egy időben vetik el, majd az árpa betakarítása után a vöröshere a területen marad. Harmadik megoldás pedig a keverékvetés, ahol két vagy több növény együttes termesztése során alkalmazott vetési módszer, több faj vagy fajta vetése történik meg egy menetben, tehát a magok össze vannak keverve. Például a rozs és a szösös bükköny egyidejű elvetése és betakarítása (Radics, 2007).

Cong et al. (2015) arról számolt be, hogy ugyanazok a növények a kettős termesztés rendszerben 4 %-kal növelték a szerves C-tartalmat és 11 %-kal a szerves N-tartalmat, ahhoz képest, amikor a szokásos vetésforgóban egyedüli növényként szerepeltek. Továbbá a kettős növények gyökérbiomasszája átlagosan 23 %-kal volt nagyobb, mint az átlagos gyökérbiomassza amikor egyedül voltak vetve. Több növényfaj egyidejű termesztése, tehát a diverzebb növényközösség kevésbé kitett a talajból fertőző patogéneknek összehasonlítva a monokultúrával vagy a kevésbé diverz rendszerekkel (Maron et al. 2011). A kettős termesztésnek további agrotechnikai előnye az, hogy míg a takarónövények vetési ideje a legmelegebb időszakra esik, amely megnehezíti a kelésüket, addig a főnövénnel együtt vetve, ez a kockázat nem jelentkezik

és a főnövény betakarítása után azonnal talajtakarást tudnak biztosítani (Seitz et al. 2023). Néhány kutatás beszámol arról, hogy a takarónövények használata kombinálva kímélő talajműveléssel megsokszorozhatja mindkét regeneratív módszer pozitív hatását a talajra (Wittwer et al., 2017; Farmaha et al. 2022).

2.3.1. A takarónövények alkalmazása ökológiai gazdálkodásban

A takarónövény használata illeszkedik az ökológiai gazdálkodás szemléletéhez. A zöldtrágyázás elterjedt gyakorlat az ökológiai gazdálkodók körében, azonban ebben az esetben a takarónövény beforgatásra kerül a talajba, amely által elveszti nedveségőrző és erózióvédő hatását. Továbbá művelés csökkentésére való törekvést is nehezíti. Konvencionális gazdálkodásban takarónövény használat összekapcsolódik a no-till rendszerekkel, aminek okán a takarónövény terminálást gyomirtókkal végzik. ökológiai gazdálkodásban ez nem engedélyezett, ezért a takarónövények általában valamilyen műveléssel kerülnek beforgatásra (Zikeli és Gruber, 2017). Vannak próbálkozások arra, hogy ökológiai gazdálkodásban is alkalmazható legyen a no-till és a takarónövény használat egyszerre. Az úgy nevezett fektető hengert (angolul: roller crimper) arra fejlesztették ki, hogy a takarónövényt elfektesse és roncsolva szöveteit mechanikai úton terminálja azt (Baldwin és Creamer, 2006; Canali et al., 2015). Németországban kifejlesztettek egy olyan direktvetőgépet, amely ökológiai gazdálkodás körülményei között akár zöld takarónövénybe is tud vetni (Zikeli és Gruber, 2017).

Nagy lehetőség rejlik azonban abban, hogy a takarónövény megoldást jelenthet a talajkímélő művelés egyes problémáira. Ahogy korábban tárgyaltuk a kímélő művelés beillesztésének hátrányai a megnövekedett gyomnyomás és a tápanyagok gyengébb mineralizálódása, amelyre megoldást nyújthat, a takarónövények által nyújtott talajtakarás és a tápanyag szolgáltatás (Wittwer et al., 2017). Wittwer vizsgálata kimutatta, hogy a takarónövények legnagyobb hatása a terméshozamra a kímélő talajművelés esetében volt ökológiai gazdálkodási rendszerben (+24 %), a következő az ökológiai rendszerben talajműveléssel (+13 %) és a hagyományos talajművelés nélküli rendszerben (+8 %). a legalacsonyabb pedig a hagyományos talajművelésű rendszerben (+2 %). Eredményeink azt mutatják, hogy a takarónövények elengedhetetlenek egy bizonyos hozamszint fenntartásához, amikor a talajművelés intenzitása csökken vagy az ökológiai gazdálkodásra való áttérés esetén. Így a takarónövények bevonása további lehetőségeket biztosít az alacsonyabb intenzitású termesztési rendszerek terméshozamának növelésére és az ökológiai intenzifikációhoz való hozzájárulásra.

2.4. A talajegészség vizsgálata, indikátorai

2.4.1. Fizikai és kémiai talaj-tulajdonságok

A korábbi fejezetek alapján láthatjuk, hogy számos kutatás bizonyítja a talajkímélő módszerek talajra gyakorolt pozitív hatását. Azonban az is kiderült az irodalmak alapján, hogy ugyanakkor számos kihívás elé is állítja a gazdákat és a termésátlagokat is csökkentheti, amely befolyásolja a gazdák motivációját a talajregeneratív módszerekre való áttérés tekintetében (Miner et al., 2020).

Ha a termésátlagok nem tükrözik rövidtávon a talajegészség javulását, fontos lehet, hogy a gazdálkodók legalább a talajvizsgálatokban lássák meg, hogy erőfeszítéseiknek van hatása. A legtöbb témában fennálló kutatás hosszútávon tudja csupán kimutatni a talajban végbemenő pozitív változásokat. Szükség van tehát olyan indikátorokra, amelyek rövid távon is képesek erre. Továbbá a mezőgazdaság támogatási rendszerének jövője az eredmény alapú finanszírozás, amely során a gazdáknak rövid távon fel kell mutatniuk javulást az előírt talajparaméterekben. Ehhez is szükséges a megfelelő vizsgálatok kiválasztása.

A hagyományos talajvizsgálatok a tápanyagellátottság nevében a kémiai vizsgálatokra fókuszálnak. Ezek a vizsgálatok fontosak és hasznosnak bizonyulnak a termésmennyiség növelése érdekében, azonban, ha a talajt csak ennek fényében vizsgáljuk az fizikai és biológiai talajromláshoz vezethet. a talajegészség koncepciója arról szól, hogy a talajt úgy tekintjük, mint élő környezeti elemet és ahhoz, hogy megvizsgáljuk meg kell érteni annak fizikai, biológiai és kémiai interakcióit is (van Es et al., 2019). A legjobb talajegészség indikátorok azok, amelyek rövidtávon érzékenyek a talaj-beavatkozásokra, azaz a megváltozott talajkezelési gyakorlatokra gyorsan reagálnak. (Stott, 2019; Cardoso et al., 2013). Továbbá fontos, hogy a vizsgálat megismételhető legyen, hasznos információkkal szolgáljon, könnyen használható és olcsó legyen (Stott et al., 2019).

A talaj szervesanyag-tartalma a talajok egyik leggyakrabban használt minőségi mutatója, amely a talajgazdálkodás megváltoztatására jelentősen tud változni. Megfelelő indikátor, mert sok talajtényezővel összefüggésben van. Javítja a talaj fizikai tényezőit, kiváló tápanyagraktározó képességgel rendelkezik, növeli a talaj vízmegtartó képességét (Stott, 2019). A humusztartalom, amely a talaj összes szervesanyag-tartalmát mutatja (mikrobiális biomasszával és a labilis széntartalommal együtt), tehát megegyezik a nemzetközi szóhasználatban a SOM-mal (Soil Organic Matter), és a SOC, amely pedig a humusznak csak a stabil frakcióját tartalmazza, a leggyakrabban mért talaj paraméter és a legfontosabb és elsődleges indikátornak számít (Stott, 2019). A leggyakrabban használják a talajkímélő módszerek hatásának, és különböző talajgazdálkodási gyakorlatoknak a vizsgálatára (Mäder et Berner, 2012; Mangalassery et al., 2015; Amini et Asoodar, 2015; Moraru, et Rusu, 2010; Six et al., 1999; Fließbach et al., 2007). Stott et al. (2019) szerint minimum 3-5 év mire kimutatható lesz a pozitív változás a szervesanyag tartalomban. West és Post (2002) szerint szén-megkötési ráta 5-10 éven belül lesz jelentős. Több kutatásban is előfordult, hogy a szervesanyag tartalomban nem volt változás 3-4 év után, míg más talaj-paraméterekben kimutatható volt az (Pittarello et al. 2021; Puerta et., al 2018). Irodalmi adatok szerint van olyan rövidtávú kísérlet is, amelyben már 3 év után kimutatták az ökológiai gazdálkodásra váltás hatását a talaj széntartalmában (Kwiatkowski et al., 2020). Ezzel ellentétben vannak olyan eredmények is, ahol hosszú távon sem mutattak ki változást a talaj szervesanyagának mennyiségében az ökológiai gazdálkodásra való áttérés során, akkor sem, ha más mutatók kimutatták a pozitív változást (Fließbach., 2007).

Manapság is népszerű a talaj szerves anyag készlet labilis részének mérése, amely gyorsabban változik a talajban és ezért alkalmas lehet egy talajgazdálkodás váltás hatásának korai indikációjára (Weil et al, 2003). A talajban lévő labilis szerves anyagok főként a növényi és állati biomasszából eredeztethetőek, pontosabban a gyökérváladékok és az elhalt mikrobiális biomassza lebomlásából származnak (Bolan et al., 2011). A labilis szén a szervesanyag készlet azon formája,

amely közvetlenül elérhető a mikrobiák számára, és ezért a mikroorganizmusok elsődleges energiaforrásának tekinthető (Chantigny, 2003, Haynes, 2005). A szervesztrágyázás (Gattinger et al., 2012) és a csökkentett talajművelés valószínűleg növeli a labilis szerves szén mennyiségét (Cooper et al., 2016). Továbbá ezek a gyakorlatok fokozhatják a szén- és nitrogénciklust, valamint a talaj aggregációját, amely az egyik elsődleges mechanizmus, amelyen keresztül a szerves szén megkötődik a talajban (Panettieri et al., 2015). Ezért a labilis szén potenciális indikátora a legfontosabb talajfunkcióknak, mint a tápanyag körforgása, a talaj aggregátum képződése, a szénmegkötés és a talaj mikrobiális életterének biztosítása. Bongiorno et al (2019) tanulmánya szerint a labilis szén frakciók közül a POXC (permanganate oxidizable carbon) bizonyult a legjobb indikátornak a regeneratív talajgazdálkodási gyakorlatok pozitív hatásának kimutatására.

A talaj *aggregátum stabilitás* mérését széles körben használják a különböző talajművelési és termesztési rendszerek összehasonlítására (Cardoso et al., 2013; Allen et al., 2011; Stott 2019). A stabil talajaggregátumok hozzájárulnak a víz jobb beszívargásához, a víz jobb áteresztéséhez és raktározásához (Amézketa, 1999; Arias et al., 2005; Tisdall 2020). Az aggregátumok kialakulása szorosan összefügg a mikrobiológiai aktivitással (Six et al., 2004; Lehmann et al., 2017). Williams et al. (2020) meta-analízisében több mérés közül az aggregátum stabilitás bizonyult az egyik legérzékenyebb indikátornak, amely a különböző talajgazdálkodási gyakorlatokra reagált. A makroaggregátumok érzékenyebbek a talajhasználatra és -gazdálkodásra, mint a mikroaggregátumok, és különösen a talaj szerves anyagának dinamikájával függenek össze (Six et al., 2004).

A talaj *makroaggregátum stabilitásának mérésére* számos módszer létezik. Egyes kutatók az aggregátumok nedvesítés hatására bekövetkező bomlását elemzik, mások a mechanikai hatásra helyezik a hangsúlyt, mások pedig mindkét hatást. A nedvesítés és a mechanikai hatás a szántóföldi talajokra ható erőket szimulálja (Amézketa, 1999). Népszerű mérések a nedves szita módszer, előnedvesítés nélkül (Kemper és Rosenau 1986), a nedves szitálás előnedvesítéssel a Cornell Rainfall Simulator módszer (Moebius-Clune et al. 2016). Létezik azonban egy másik lehetőség is az aggregátum stabilitás vizsgálatára, az *aggregátumok szétmállásának vizsgálata* víz hatására és az azt követő diszperziós fokának felmérésére. Ezen az elven alapszik a mérés, amely okos telefon segítségével képes az aggregátum stabilitás mérésére. Az alkalmazás neve: **SLAKES**. (Flynn et al., 2020). Flynn et al. 2020-as kutatásában a SLAKES módszer érzékenyebb volt a talajkezelési típusok (hagyományos talajművelés, no-till, évelő gye) különbségeire, mint a Cornell-módszer. Peluchon és mtsai (2021) szerint a SLAKES szignifikáns különbséget tudott kimutatni a hagyományos talajművelés és a sekély talajművelés között, és ez szignifikánsabb volt az MDW (aggregátumok átlagos súlyozott átmérője, angolul: Mean Weight Diameter) aggregátumstabilitási méréshez képest. Egyértelmű különbségeket figyeltek meg az ASI (Aggregátum stabilitás index) értékekben a SLAKES alkalmazása során különböző földhasználat mellett Jones et al. (2020). Rieke et al. (2022) négy aggregált stabilitáshoz köthető mérést végzett el, és azt találta, hogy mindegyik hasonlóan érzékeny a talajművelésre, a takarónövényekre, a szervesanyag utánpótlásra és a tarlókezelésre. A felsorolt kutatások alátámasztják, hogy a SLAKES megbízható mérőeszköz a talaj aggregátum stabilitásának mérésére, amely megfelelő érzékenységgel képes kimutatni a talajgazdálkodási gyakorlatok közötti különbségeket.

2.4.2. Talajbiológiai tulajdonságok fontossága rövid és hosszabb távon

A talajbiológiai mérések jó indikátorai lehetnek a talajban végbemenő pozitív változásoknak, mivel érzékenyen reagálnak a gazdálkodási gyakorlatokra. (Nunes et al., 2020; Stott, 2019; Cardoso et al., 2013). A talaj mikrobiális aktivitása szorosan összefügg a talaj egészségével, mivel alapvető funkciói vannak a talaj szén- és tápanyag-körforgásában. (Cardoso et al., 2013; Shah et al. 2021). A biológiai tulajdonságok mérésének egy elterjedt módja a talajok enzimaktivitásának a vizsgálata. A biokémiai mutatók a legalkalmasabbak a talajminőség értékelésére, de használatukat korlátozza a rendelkezésre álló adatok hiánya. A talaj mikrobiális tevékenységei, beleértve az enzimaktivitásokat is, a fizikai és kémiai tulajdonságoknál érzékenyebbek a talajminőség változásaira, és könnyen számszerűsíthetők (Bobul'ská et al., 2015). Minden biokémiai reakciót enzimek katalizálnak. A talajenzimek fontos talajminőségi paraméterekhez kapcsolódnak, és sokkal előbb mutatnak ki változást a talajgazdálkodási gyakorlatok hatására (akár már hónapok elteltével is) más talajparaméterrel összehasonlítva (Alkorta et al., 2003; Raghavendra et al., 2020). A dehidrogenáz enzim (DHA) olyan intracelluláris enzim, amely részt vesz a talajban zajló mikrobiális oxidatív metabolizmusban és így a mikrobiológiai aktivitás indikátorának tekintik, amely összefüggésben van a talajlégzéssel és a szervesanyaglebontással (Garcia et al., 1997; Jaggi et al., 2018). Kizárólag intracelluláris úton keletkezik és elméletileg csakis az életképes sejtek termelik (Roldán et al., 2005). A fluoreszcein diacetát (FDA) egy szintelen vegyület, amit számtalan enzim, mind a szabadon előforduló, mind pedig a membránhoz kötött enzimek (Solaiman, 2007), így a proteázok, a lipázok és az észterázok is képesek hidrolizálni (Szili-Kovács, 2011). Számos kutatás bizonyította, hogy a talajkímélő művelés fokozza ezeknek az enzimeknek az aktivitását a talajokban (Nugroho et al., 2023; Kumar et al., 2017; Wen et al., 2023).

Egy másik talajbiológiához kapcsolódó talajegészség indikátor lehet a *talajok glomalin tartalma* (GRSP- glomalin related soil protein) is, amely az arbuszkuláris mikorrhiza (AM) gombák által termelt glikoproteint méri a talajban (Wright és Anderson, 2000). A glomalin is viszonylag gyorsan változik a vetésforgó és a talajművelési gyakorlatok hatására (Roldán et al., 2005). Például szántásos művelésről a no-till rendszerre való átállás növelte a GRSP koncentrációját és a talajaggregátumok stabilitását (Wright et al., 1999). Általában az intenzív gazdálkodás negatív hatással van a GRSP-tartalomra, tehát minél több beavatkozás történik a talajba annál alacsonyabb a glomalin koncentrációja. A háborítatlan élő kultúrákban nagyobb mennyiségben voltak megtalálhatók (Avio et al., 2013). A GRSP mennyiségét a trágyázás is befolyásolja. Megállapítást nyert, hogy a szármaradványok és a szerves trágyázás kedvezőbben hatnak a glomalin koncentrációjára, mint a műtrágyák (Gosh et al., 2018).

A *talajegészség szemlélete* kapcsán egyre elterjedtebbek a mikroba populációk összetételének meghatározása is (Chavarria et al., 2016; D'Acunto et al., 2018; Feng et al., 2021; Thapa et al., 2021; Vukicevich et al., 2016), amely vonatkozhat csak a nagyobb csoportok mennyiségének meghatározására (pl. gombák, baktériumok mennyisége), vagy a faj szintű meghatározásra. A különböző mikroba csoportok nagyobb mennyisége, vagyis felszaporodásuk jelezheti a talaj minőségének javulását, hiszen az adott csoport jobb körülmények között jobban képes szaporodni. A mikroba populációk összetételének vizsgálata azonban vonatkozhat a mikroorganizmusok diverzitásának meghatározására, amely szintén egy talajegészség mutató.

Minél diverzebb a talaj táplálékháló, minél több taxonómiai csoport található meg a talajban, annál több funkciót képes ellátni a talaj.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Elő-kutatás különböző talajhasználatú területekkel

A Soroksári Kísérleti Üzem ökológiai gazdálkodás ágazatában egy előkutatást végeztem a különböző talajhasználati múltú területek összehasonlításával. Ennek célja az volt, hogy mielőtt belekezdek a fő kutatásaimba, előzetes ismereteket nyerjek arról, hogy az alkalmazható talajvizsgálatok mennyire nyújtanak hasznos információt és milyenek az összefüggések figyelhetők meg közöttük. A területek eltértek a legutolsó talajbolygatástól eltelt idő tekintetében, valamint a rajtuk termesztett kultúrák szerint is és ezek befolyásolhatták a közöttük mért különbségeket.

A vizsgálatot Soroksáron a MATE Kísérleti Üzem és Tangazdaságában (Soroksár) megtalálható Ökológiai Gazdálkodás Ágazat területén végeztük.



1. ábra: A vizsgált területek felülnézeti képe, Google Earth felvétel. [2018, Soroksár]

A hely éghajlati és talajadottságait a következők jellemzik: az elhelyezkedését tekintve az Alföldön belül a Pesti hordalékkúp síkságon fekszik. Egykor a Duna öntésterülete volt, a folyó hordalékanyagai szolgáltak talajképző kőzetül. Soroksáron több talajtípus is kialakult, azonban a legnagyobb részén és az egyetemi gazdaság területén is humuszos homoktalaj jött létre. Jellemzője, hogy nagy a vízbefogadó és a vízáteresztő képessége, azonban alacsony a vízmegtartó és a vízraktározó kapacitása. A talaj laza szerkezetéből adódóan gyors felmelegedésre, gyors lehűlésre és kiszáradásra hajlamos. Illetve a talaj humusz rétegének vastagsága nem haladja meg

a 40 centimétert és a tápanyag szolgáltató képessége is csekély, ami növénytermesztési szempontból nem kedvező feltételek. A talajt karbonátos szelvények alkotják, így kémiai tulajdonságát tekintve enyhén lúgos, bázikus kémhatású. Soroksár éghajlati viszonyát tekintve mérsékelt meleg-száraz. Évi középhőmérséklete 10,2 °C. A Napsütéses órák száma átlagosan évi 2000 óra. Legmelegebb hónapja a július, amikor is a havi középhőmérséklet eléri a 21 °C-ot, leghidegebb pedig a január, ekkor a havi középhőmérséklet -1,6 °C. A csapadék meglehetősen változékony, egyenlőtlen eloszlású. Az évi átlagos csapadékmennyiség kevés, 500 mm körüli. A legtöbb csapadék a májusi és a júliusi időszakban esik, a legkevesebb január-március között. A tangazdaság területét természetes kerítésként, erdőszáv veszi körül, ami mérsékelni képes az uralkodó észak-nyugati szél sebességét.

A területek talajművelési eljárásait és vetésforgóját, a vizsgálat évét megelőzően 5 évre visszamenőleg vizsgáltuk, ami a 2013-tól 2018-ig terjedő időszakot jelenti. A terület parcelláit 1-től 5-ig számozva az 1. ábra mutatja be, a következők szerint:

1-es számú terület: **intenzíven művelt terület**, ami körülbelül 0,9 hektárt ölel fel, ahol az elmúlt években a szántás a tárcsázás és a kombinátorozás volt a meghatározó talajművelési eljárás. A területen 2013-ban mustár (*Sinapis alba*), 2014-ben zab (*Avena sativa*) termelt, zöldtrágyanövénynek a mustár, 2015-ben a kukorica (*Zea mays*), 2016-ban a paradicsom (*Solanum lycopersicon*) és a rozs (*Secale cereale*), 2017-ben ismét a mustár, 2018-ban pedig a tritikálé (*Triticum secale*) volt vetve. A túlzott gyomborítottság megszüntetésére szárzúzást alkalmaztak, a szármadarványokat és a zöldtrágyanövényeket tárcsával dolgozták a talajba.

2-es számú terület: **vetett gye**p, amely méretét tekintve 0,6 hektár. 2017 óta kaszáló fűkeverékkel bevetett, amely angol perjét (*Lolium perenne*), olaszperjét (*Lolium multiflorum*), nádképű csenkeszt (*Festuca arundinacea*), csomós ebirt (*Dactylis glomerata*), és zöld rozsnokot (*Bromus catharticus*) tartalmazott. A területet évente több alkalommal kaszálták. Korábbi években a negyedik területtel összevonva gazdálkodtak rajta, ezért 2013 és 2015 közötti időszakban talajhasználati múltjuk megegyezik. 2013-ban főnövényként kukorica került a területre, vetését megelőzően szántva, tárcsázva és kombinátorozva volt a parcella. Betakarítást követően szárzúzás, közép mély lazítás és szántás történt a területen. 2014-ben csicseriborsó (*Cicer arietinum*) volt a főnövény, utána másodvetésben mustár került a területre zöldtrágyaként. 2015-ben szintén csicseriborsóval vetették be a területet, majd az őszi vetésű tritikálé került a területre. 2016-ban a tritikálé aratása után méhlegelő keverékkel vetették be a területet. Ezután 2017 tavaszán került a területre a vetett gye

p, amely aztán kaszálóként funkcionált.

3-as számú terület: **évelő pillangós**, ami 2,7 hektár. 2013 és 2015 közötti időszakban két eltérő nagyságú területegységre volt osztva a parcella, melyeken egyaránt intenzív művelés folyt. A kisebb területre gabonanövényként búza (*Triticum aestivum*) majd zöldtrágyanövényként mustár és repce (*Brassica napus* ssp. *napus*) került. A megfelelő, egyöntetű kelés hiányában a repcére alávetéssel árpát vetettek. A magoknak szántással és kombinátorozással vagy tárcsázással biztosították a megfelelő, laza aprómorzás szerkezetű talajt. Ezen a részen 2015 szeptemberében került sor a lucerna (*Medicago sativa*) vetésére. A 2013-2015-ös időszakban a nagyobb területegységre kukoricát (*Zea mays*) vetettek, melynek magágyát ugyanazon művelési eljárásokkal készítették elő, mint a kisebb parcellarészek növényeinek talaját. A túlzott mértékű

gyomosodás miatt, többszöri szárzúzást alkalmaztak, ami után 2015-ben tavaszi árpa (*Hordeum vulgare*) került a területre, amit 2016 márciusában lucernával vetettek be. A lucernát nyári időszakban rendszeresen vágták, rendsodrózták és bálázták.

4-es számú terület: 1,7 hektáros **rekultivációs gye**p, amit 2015-ben a kettes számú parcellától leválasztottak és a művelésével felhagytak. Azóta évente egyszer kaszálják.

5-ös számú parcella: **fákkal elegyes kaszáló**, amely eredetileg 1,7 hektár kiterjedésű terület volt, de az általunk vizsgált rész körülbelül 0,5 hektárnak felel meg. A terület betelepítésének alap gondolata 2009-ben egy permakultúrás rendszerű erdőkert létrehozása volt, melyen eredetileg 130 gyümölcsfa és védőfa telepítése történt meg hároméves időtartam alatt. Telepített- fajok között számos gyümölcsféle megtalálható volt: mint alma (*Malus domestica*), kajszi (*Prunus armeniaca*), török mogyoró, som (*Cornus mas*), őszibarack (*Prunus persica*), meggy (*Prunus cerasus*), cseresznye (*Prunus subg. Cerasus*), körte (*Pyrus communis*), szilva (*Prunus domestica*), amelyből 2018-ra körülbelül 12 kajszi fa, 8 őszibarack és néhány szilvafa maradt meg. A táblán belül azt a területet jelöltük ki mintavételre, ahol megmaradtak a fák. Az aljnövényzetet füves here és lucerna borította, amit évente két-három alkalommal kaszáltak és báláztak.

6-os számú parcella: 1998-ban telepített **mezővédő-sövény**. A telepítés 2000-2001 évtől számítva máig bolygatatlan területnek számít. A sövényben alkalmazott fajok: gyeprüzsa (*Rosa canina*), egybibés galagonya (*Crataegus mongyna*), fekete bodza (*Sambucus nigra*), európai mogyoró (*Corylus avellana*) veresgyűrű som (*Cornus sanguinea*), húsos som (*Cornus mas*), kökény (*Prunus spinosa*), közönséges fagyal (*Ligustrum vulgare*), csikos kecskerágó (*Euonymus europaeus*), mezei juhar (*Acer campestre*), vadalma (*Malus sylvestris*) és vadkörte (*Pyrus pyraster*), amely számtalan állatnak, hasznos madárnak és rovarnak ad élelmet és nyújt menedéket.

Az eltérő területekről származó mintákat 2018. június 6-án és október 25-én gyűjtöttük. Mindkét időpontban a mintavétel módja megegyezett. A mintákat parcellánként átlósan haladva, 20-20 pontból, 0-20 cm mélyről talajmintavevő eszköz segítségével (talajfúróval) gyűjtöttük, majd a 20-20 mintát homogenizáltuk és így kaptuk meg az egyes területek átlagmintáit. A talajmintákon egyszer mértük a szervesanyag tartalmat (SOM), a nitrogén tartalmat (ammónium, nitrát), a kálium és foszfor tartalmat, a pH-t, és mind a két mintavéteki időpontban mértük a nedvességtartalmat, a dehidrogenáz (DHA) és fluorszein diacetát hidrolízis (FDA) enzimaktivitást és kísérleteztünk a gomba és baktérium mennyiségének mikroszkópos meghatározásával is. A felsorolt talajvizsgálatok részletes leírása a 3.5-ös fejezetben található.

3.2. Rövidtávú szabadföldi kísérlet

A Soroksári tangazdaság ökológiai ágazatában beállított szabadföldi kísérlet, amelyben a kísérleti üzem megszokott talajművelési rendszerét hasonlítottuk össze talajkímélő művelési móddal és azt kiegészítve takarónövények alkalmazásával. A kísérlet 2018 és 2020 között szintén a MATE Kísérleti Üzem és Tangazdaságában Ökológiai Gazdálkodási Ágazatban zajlott. Környezeti adottságait az Elő kísérlet leírásánál részleteztük. A kísérlet az előkísérlet 1-es parcellájának egy kijelölt területén került beállításra. A kísérleti helyszín 2820 m² nagyságú területet foglal magában (szélesség: 47 m, hosszúság: 60 m). A kísérleti parcellák sávosan, random elrendezésben lettek kialakítva (2. ábra). Minden kezelés két sávban valósult meg amelyeket

további három részre osztottunk a talajmintavételezéshez és ezeket is külön ismétlésként kezeltük. Egy ismétlés 156,5 m² volt (7,8 m széles és 20 m hosszú), ez azt jelenti, hogy minden kezeléshez 6 ismétlés tartozott.

Háromféle talajkezelést alkalmaztunk, úgy mint:

- i) szántásra alapozott **hagyományos művelést**, ez volt a kísérleti gazdaságban elterjedt talajművelési rendszer (SZ),
- ii) **talajkímélő művelést**, amely ez esetben a forgatás elhagyását jelentette (K),
- iii) **forgatás nélküli kímélő művelést takarónövények alkalmazásával** kombinálva (KT).



2. ábra: A kísérleti terület elhelyezkedése Google Earth fotó alapján.
[Jelölés: SZ-szántott, K-forgatás nélküli, KT-forgatás nélküli takarónöv. kombinálva.]

Az SZ parcellákon a hagyományos talajművelési rendszerek elemeit alkalmazták, a kísérleti üzem korábbi gyakorlata szerint. A K terület talajművelési gyakorlata lecsökkent a vetés előtti talajelőkészítésre és a termesztett kultúrnövény szármadarványainak a bedolgozására tárcsázással, majd annak elmunkálására. A KT kezelésnél K parcellákon őszele (szeptemberben) takarónövények is lettek vetve. A műveleteket az 1. táblázat részletezi.

A felhasznált takarónövénykeverék összetétele: facélia (*Phacelia tanacetifolia*), homoki zab (*Avena strigosa*), bíbor bükköny (*Vicia benghalensis*), etióp mustár (*Brassica carinata*) és lóbab (*Vicia faba*), azonos tömegszázalékos kivetési arányban.

1. táblázat: A három különböző talajkezelés részletes bemutatása a vizsgált évek szerinti bontásban (Soroksár, 2018, 2019 és 2020).

év	hónap	hagyományos művelés (SZ)	forgatás nélküli művelés (K)	forgatás nélküli művelés takarónövényekkel (KT)
2018	ősz	szántás		talajelőkészítés, takarónövények vetése
	tavasz	tárcsázás	tárcsázás	tárcsázás
		boronálás	boronálás	boronálás
		pohánka-vetés	pohánka-vetés	pohánka-vetés
	nyár	pohánka betakarítása	pohánka betakarítása	pohánka betakarítása
2019		szármaradvány bedolgozás tárcsával	szármaradvány bedolgozás tárcsával	szármaradvány bedolgozás tárcsával
	ősz	szántás, szántás elmunkálás tárcsával és boronával		takarónövény-vetés, sekély beforgatás, hengerezés
		mintavétel		
2020	tavasz	tárcsázás	tárcsázás	tárcsázás
		boronálás	boronálás	boronálás
		csicseriborsó-vetés	csicseriborsó-vetés	csicseriborsó-vetés
	nyár	mintavétel		

A kísérlet kiindulási talajtulajdonságai a 2. táblázaton láthatók.

2. táblázat: A kísérleti terület kiindulási és alapvető kémiai talajtulajdonságai (Soroksár, 2018).

pH	H%	AK	NO ₃ mg/kg	NH ₄ mg/kg	P ₂ O ₅ mg/kg	K ₂ O mg/kg	CaCO ₃ m/m%
8,25	2,15	25	6,5	4,5	922,69	278,2	5,3

A talajmintákat 2019 őszén és 2020 nyarán vettük a kísérleti terület parcelláiból. A minták gyűjtése parcellánként hat pontból történt, amelyet homogenizáltunk (kompozit minta), 0-20 cm mélységből, kézi talajmintavevő segítségével. A talajminták egy részét hűtőben 5 °C-on tároltuk a talajbiológiai vizsgálatokig, a maradék talajokat pedig légszáraz állapotba hoztuk a talajfizikai-kémiai analízisekhez.

A kísérlet végén (2019-nyarán) vizsgáltuk a lassan változó paramétereket a talajban. Ilyen paraméter volt a szervesanyag tartalom (SOM), és a pH tartalom. A kísérlet lefolyása alatt kétszer (2019 ősz, 2019 nyár) vizsgáltuk a nedvességtartalmat, az ammónium (NH₄) és nitrát (NO₃) tartalmat, a glomalin tartalmat (GRSP), és kétféle enzimaktivitás tartalmat (FDA, DHA). A 2019 őszi mintavétel talajaiból mikroszkópos baktérium és gomba mennyiség meghatározást is végeztem. A felsorolt talajvizsgálatok részletes leírása a 3.5-ös fejezetben található.

3.3. Tenyészedényes kísérlet takarónövényekkel

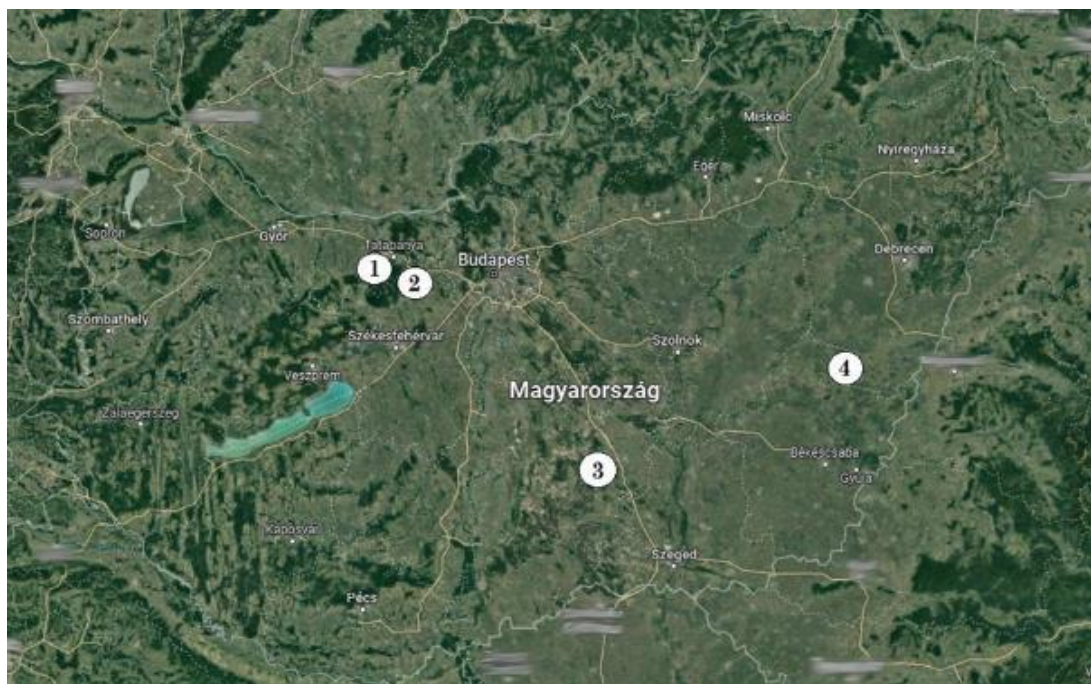
A szántóföldi kísérletben alkalmazott takarónövény fajokkal tenyészedényes kísérletet állítottunk be, hogy szabályozott körülmények között is vizsgáljuk talajra gyakorolt hatásukat. A tenyészedényes kísérlet a MATE Zöldség- és Gombatermesztési Tanszékéhez tartozó üvegházban került beállításra a Budai Arborétum területén. A kísérletet 2020 októberében állítottuk be. Az öt növényfajt: etióp mustárt (*Brassica carinata*), facéliát (*Phacelia tanacetifolia*), homoki szabot (*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 (3. ábra). Az egyes növényfajokból 10-10 db növényt neveltünk négy ismétlésben nyolc héten keresztül. Az egyes fajokat tartalmazó edényeken kívül a kísérlet részét képezte egy – az öt növényből álló – keverék vetése is, továbbá annak egy arbuszkuláris mikorrhiza oltóanyaggal (Danuba Kft) oltott változata is (oltott keverék) a forgalmazó által javasolt dózisban, ezek szintén négy ismétlésben kerültek beállításra. A növényeket fűtött üvegházban neveltük. Az átlaghőmérséklet nappal 19 °C, éjszaka 10 °C volt; a páratartalom 52 %. 8 hetes növekedés után a talajmintákat és a növényeket begyűjtöttük. A talaj feletti részeket előkészítettük a szárításra és a növények gyökerét, óvatosan kinyertük a talajból a további feldolgozáshoz. A talajvizsgálatokhoz az edények talajtartalmát homogenizáltuk és friss talajmintát igénylő mérésekhez 5 °C -on tároltuk a mérések megkezdéséig. A maradék talajmintát légszárazon tároltuk. A talajmintákon kétféle enzimaktivitás tartalmat (FDA, DHA), a glomalin tartalmat (GRSP), az elektromos vezetőképességet (EC) és az ammónium és nitrát tartalmat vizsgáltuk, valamint meghatároztuk az egyes növényfajok és keverékek biomasszáját és gyökértömegét. A módszerek részletes leírása a 3.5-ös fejezetben található.



3. ábra: A tenyészedényes kísérlet beállítása.

3.4. On-farm kutatás

A kémelő talajművelés és az egyéb ökológiai gazdálkodásban is alkalmazható talajregeneráló technikák lehetőségeinek feltárása érdekében négy ökológiai gazdaságban vizsgáltunk különböző táblákat, amelyeket különböző talajregeneratív módszerekkel kezeltek. Kutatásunkban Magyarország különböző régióinak különböző talajtani és meteorológiai tulajdonságokkal rendelkező gazdaságaiban végeztünk méréseket, **Kömlőd** (Komárom-Esztergom vármegye), **Szár** (Fejér vármegye), **Bugac** (Bács-Kiskun vármegye) és **Füzesgyarmat** (Békés vármegye) települések körzetében (4. ábra). A különböző települések talajadottságait tekintve különböznek így összehasonlításra nem alkalmasak, emiatt gazdaságon belül hasonlítottuk össze a különböző művelési gyakorlatokat. Három település esetében lehetőségünk nyílt szomszédos konvencionális táblákból is mintát venni. Így statisztikai elemzéshez kiemeltünk három olyan táblapárost, ahol egy ökológiai regeneratív módszerekkel kezelt tábla mellett közvetlenül egy konvencionális hagyományos művelésű terület helyezkedik el. Mivel közvetlen szomszédságban van a két terület az alap talajtulajdonságok nem térnek el olyan mértékben, amely befolyásolná az összehasonlíthatóságukat.



4. ábra: A vizsgálatba vont négy gazdaság helyének megjelölése Magyarország térképén: Kömlőd-1, Szár-2, Bugac-3, Füzesgyarmat-4 (Google Earth felvétel).

3.4.1 A kömlődi táblák bemutatása

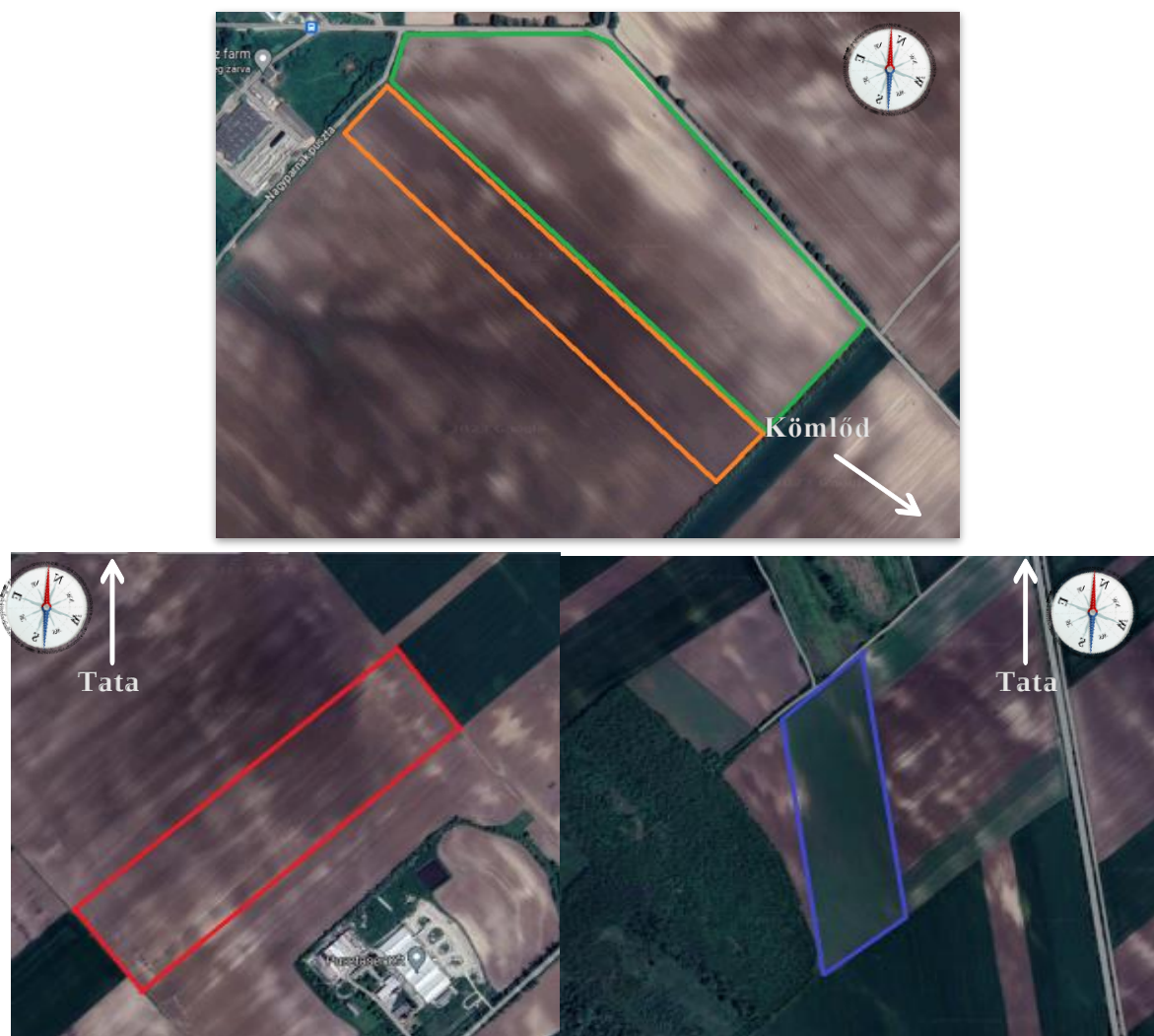
Kömlőd a Vértes hegység lábánál, a Tatai-hegység (Bársonyos) dombvidékén fekszik. Éves csapadékmennyisége 650 mm, évi átlagos középhőmérséklete 10 °C (Hungaromet, 1991-2020). Kömlőd mellett négy táblát vizsgáltunk, amelyből három tábla egy gazdasághoz tartozott, amely épp fokozatosan tért át ökológiai gazdálkodásra, így vannak már átállított területei (ebből kettőt vizsgáltunk) és még konvencionális területei (amelyből egyet vizsgáltunk), továbbá egy táblát egy másik konvencionális gazdaságból vizsgáltunk.

Kömlődön az első tábla (a továbbiakban **Öko-sekély1**) a 5. ábrán látható zölddel jelölve (47°33'19.1"N 18°13'51.4"E). Talaját tekintve a szemcseösszetétel szerint vályog textúrájú. A tábla alap talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. 2017 óta ökológiai szabályozás alá vont terület. 2015 óta pedig sekély forgatás nélküli művelést alkalmaznak rajta. A gazdálkodó pillangós kettős termesztést alkalmazott az átállás óta és csökkentette a művelések számát is. Korábban konvencionális gazdálkodás folyt a területen hagyományos szántásra alapozott műveléssel. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 3. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig az 1. mellékletben (M2).

A 5. ábrán narancssárgával jelölt tábla (a továbbiakban **Konv-szántott**) egy konvencionális gazdaságból származó tábla (47°33'12.4"N 18°13'48.2"E). Az Öko-sekély tábla mellett helyezkedik el tehát talajtextúrájuk megegyezik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben találhatók. A mintavételt megelőző időszakban hagyományos szántásra alapozott művelés folyt. Három éven keresztül kukoricát termesztettek a területen. A szármaradványt nem hordták le a területről. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 3. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 1. mellékletben (M2).

Az 5. ábrán pirossal jelölt tábla (a következőkben **Konv-sekély**) 15 kilométerre található az Öko-sekély és Kon-szántott táblától észak-keleti irányban (47°34'56.0"N 18°18'52.1"E). A talaj fizikai féleségét tekintve homok kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. A mintavétel időpontjában még nem vonták biogazdálkodás alá a területet, azonban 2015 óta szintén forgatás nélküli sekély művelést alkalmaztak rajta. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 3. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig az 1. mellékletben.

Az utolsó tábla Kömlődön az 5. ábrán kézzel jelölt terület (a következőkben **Öko-sekély2**). Nény kilométerre északi irányban helyezkedik el a Konv-sekély táblától (47°35'48.5"N 18°18'48.4"E). A talaj fizikai féleségét tekintve ez a tábla is homok kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. A mintavételt megelőző 2 évben került átállításra ökológiai gazdálkodássá. Ez idő alatt alkalmaztak pillangós alávetés és 2015 óta pedig sekély forgatás nélküli művelés folyt rajta. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 3. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig az 1. mellékletben.



5. ábra: A négy kömlődi tábla jelölése Google Earth térképen.
 [Zöld-Öko-sekély1, narancssárga-Konv-szántott, piros-Konv-sekély, kék-Öko-sekély2]

3. táblázat: A kömlődi táblákon alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok összefoglalója az interjúk és a gazdálkodási napló alapján.

	Öko-sekély1	Konv-szántott	Konv-sekély	Öko-sekély2
Ökológiai gazdálkodás	3 éve	-	-	2 éve
vetésforgó 2018 és 2021 között	kukorica, őszi búza, napraforgó, tönkölybúza	kukorica, kukorica, kukorica, őszi búza	őszi árpa, napraforgó, őszi árpa, kukorica	őszi árpa, napraforgó, őszi búza, fekete zab
művelési rendszer	forгатás nélküli sekély művelés	hagyományos szántásra alapozott művelési rendszer	forгатás nélküli sekély művelés	forгатás nélküli sekély művelés
művelési gyakorlatok	tarlóhántás, gyomszabályozás tárcsával évente 3x	alpművelés szántással (20-30 cm), tarlóhántás tárcsával (5-10 cm), lazítózás minden 3. évben (30-40 cm), a szántást nem munkálják el télre	tarlóhántás, gyomszabályozás tárcsával évente 3x	tarlóhántás, gyomszabályozás tárcsával évente 3x
tápanyagutánpótlás	-	műtrágya 130 kg N ha-1	műtrágya 130 kg N ha-1	-
növényvédelem	-	gyomirtó, gombaölő, rovarölő	gyomirtó, gombaölő, rovarölő	-
szármaradvány kezelés	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad
segéd növény (service crop)	2019-2020: pillangós rávetés, amely a területen maradt a főnövény betakarítása után a következő év tavaszáig (2019-ben nem történt művelés a területen)		2020: mustár, zab zöldtrágya másodvetésben	2019-2020: búzával alávetés: 2 féle perje, 5 féle pillangós, 2019 ősz és 2020 ősz között nem történt művelés a területen

3.4.2. A szári táblák bemutatása

Szár a Dunántúli középhegység, Vértes-Velencei hegyvidékén a Lovasberényi-háton található, évi középhőmérséklete 10,5 °C, évi csapadékmennyisége 600 mm. Négy tábla közül három tábla ugyanabból az ökológiai gazdaságból származik, amely öt éve állt át biogazdálkodásra. Egy pedig egy szomszédos konvencionális gazdaságból származik.

A 6. ábrán az első tábla (a továbbiakban **Öko-sekély**) narancssárgával van jelölve (47°27'00.7"N 18°30'44.0"E). Ez a területet 2015 óta ökológiai gazdálkodásra váltották forgatás nélküli sekély műveléssel. A talaj fizikai féleségét tekintve homok kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 4. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 2. mellékletben (M2).

A következő szári terület (a továbbiakban **Konv-szántott**) a 6. ábrán a pirossal jelzett tábla (47°27'03.0"N 18°30'46.5"E). Ez a tábla az Öko-sekély tábla konvencionális párja. A terület egyfajta kontrollként szolgálhat az Öko-sekély táblához, mivel itt ugyanolyan típusú gazdálkodási gyakorlatot alkalmaznak, mint az Öko-sekély táblán 2015 előtt. Talajtextúrájuk megegyezik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 4. táblázatban látható.

A harmadik terület Száron (a továbbiakban **Öko-szántott**) zölddel jelölve látható (47°27'15.0"N 18°30'26.8"E). Talajtextúra tekintetében vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Ezen a területen a mintavételt megelőző három évben burgonyát termesztettek, ezért a táblán intenzív talajművelés folyt, szántással, sorközműveléssel, kapálással. Azonban a legnagyobb mennyiségű szervesanyagát is ez a terület kapta a szári vizsgált területek közül. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 4. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 2. mellékletben (M2).

Az utolsó szári terület (a következőkben **Extenzív**) a 6. ábrán a késsel jelölt terület (47°26'59.2"N 18°30'17.1"E). Talajtextúra tekintetében homokos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. A gazda által extenzívnek nevezett terület talajadottságaiból kifolyólag nehezen művelhető tábla, mivel nagy mennyiségű követ tartalmaz. A termésátlagok ezen a területen mindig alacsonyabbak voltak a többi táblával összehasonlítva. Ezért itt főként talajjavító növényeket alkalmaztak, kevesebb talajmunkával és inputtal. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 4. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 2. mellékletben (M2).



6. ábra: A szári táblák bejelölve Google Earth térképen. Narancssárga - Öko-sekély, piros – Konv-szántott, zöld – Öko-szántott, kék - Extenzív

4. táblázat: A szári táblákon alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok összefoglalója az interjú és a gazdálkodási napló alapján.

	Öko-sekély	Konv-szántott	Öko-szántott	Extenzív
Ökológiai gazdálkodás	5 éve	-	5 éve	5 éve
vetésforgó 2018 és 2021 között	napraforgó, őszi búza, kukorica, lucerna	kukorica, napraforgó, őszi búza, kukorica	burgonya, burgonya, burgonya, tönke	bíborhere, tritikálé, bíborhere, rozs
művelési rendszer	forгатás nélküli sekély művelés	hagyományos szántásra alapozott művelési rendszer	hagyományos szántásra alapozott művelési rendszer	forгатás nélküli sekély művelés
művelési gyakorlatok	tarlóhántás tárcsával, gyomszabályozás: tárcsa (10 cm) 2x egy évben, gruber (10 cm) 1x egy évben	alpművelés szántással (20-30 cm), tarlóhántás tárcsával (5-10 cm)	alpművelés szántással (20-30 cm), tarlóhántás tárcsával (5-10 cm), burgonyában sorközművelés 3x	tarlóhántás tárcsával, gyomszabályozás : tárcsa (10 cm) 1x egy évben, gruber (10 cm) 1x egy évben
tápanyagutánpótlás	2018: vinas 1,2 t ha-1, 2019: manure pellet (Green active N27), 2020: cow manure 22 t ha-1	műtrágya 130 kg N ha-1	2018: vinasz 2t/ha 2019, 2020: Green Active (321kg/ha), Guanito (600kg/ha), Patentkáli (660 kg/ha) 2021: Bio-fer natur extra, Patentkáli	-
növényvédelem	Laser, Champion, Wetcit, Novodor	gyomirtó, gombaölő, rovarirtó		
szármaradvány kezelés	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad	szármaradvány a területen marad
segéd növény (service crop)	takarónövény vetése 2019 őszén: bíborhere, facélia, pohánka, homoki zab	-		-

3.4.3. A füzesgyarmati táblák bemutatása

Füzesgyarmat a Dél-Alföldön a Dévaványai-sík északkeleti, a Nagy-Sárrétel határos peremén fekszik. Évi középhőmérséklete 11,5 °C, évi átlagos csapadékmennyisége 550mm. Két ökológiai gazdálkodás alá vont terület talaját vizsgáltuk a település mellett és a velük szomszédos konvencionális gazdaságok talaját.

Az első terület Füzesgyarmaton a 7. ábrán a kékkel jelölt terület (a következőkben **Öko-forgnélkül**) (47°07'23.1"N 21°11'46.9"E). Talajtextúra tekintetében agyagos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. A terület a mintavételt megelőzően 20 évvel átállt ökológiai gazdálkodásra és 8 éve pedig forgatás nélküli művelés jellemzi diverz vetésforgóval. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 5. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 3. mellékletben (M2).

A 7. ábrán a pirossal jelölt terület (a következőkben **Konv-szántott**) az Öko-forgnélkül tábla mellett helyezkedik el (47°07'23.8"N 21°11'43.0"E). Konvencionális gazdálkodás folyik rajta hagyományos szántásra alapozott műveléssel, így kontrollként szolgál az Öko-forgnélkül táblához. Talajtextúra tekintetében agyagos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 5. táblázaton látható.



7. ábra: A füzesgyarmati Öko-forgnélkül tábla (kékkel jelölve) és a Konv-szántott tábla (pirossal jelölve) Google Earth térképen.

A 8. ábrán ternarancssárgával jelölt terület (a következőkben **Öko-forgnélkül**) a az Öko-forgnélkül és Konv-szántott területtől 5 km-re délre helyezkedik el ($47^{\circ}05'20.2''\text{N}$ $21^{\circ}11'00.5''\text{E}$). Talajtextúra tekintetében agyagos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Ez a terület hasonlóan az Öko-fornélkül1 táblához, tehát forgatás nélküli talajművelést alkalmaznak rajta és diverz vetésforgót. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 5. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig 3. mellékletben (M2).

A 8. ábrán a zölddel jelölt terület (a következőkben **Konv-forgnélkül**) az Öko-forgnélkül2 tábla mellett helyezkedik el ($47^{\circ}05'19.6''\text{N}$ $21^{\circ}10'54.0''\text{E}$). Egyfajta kontrollként szolgálhat, mivel konvencionális gazdálkodás folyik rajta. Talajtextúra tekintetében agyagos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai a 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Itt konvencionális termelés folyik forgatás nélküli műveléssel, de mélylazító használatával. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 5. táblázatban látható.



8. ábra: A füzesgyarmati Öko-forgnélkül2 tábla (narancssárgával jelölve) és a Konv-forgnélkül tábla (zölddel jelölve) Google Earth térképen.

5. táblázat: A Fűzesgyarmati táblákon alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok összefoglalója az interjúk és a gazdálkodási napló alapján.

	Öko-forgnélkül1	Konv-szántott	Öko-forgnélkül2	Konv-forgnélkül
Ökológiai gazdálkodás	20 éve	-	20 éve	-
vetésforgó 2018 és 2021 között	őszi búza, mustár, zab, alakor	őszi búza, árpa, kukorica, napraforgó	repce, tönkölty búza, repce, tönköltybúza	napraforgó, búza, repce, búza
művelési rendszer	forgatás nélküli művelési rendszer(15-20cm)	hagyományos szántásra alapozott művelési rendszer	forgatás nélküli művelési rendszer(15-20cm)	forg. nélküli művelés, mélylazítással
művelési gyakorlatok	tarlókántás, gyomszabályozás tárcsával vagy grúberrel 3-4X évente, 15-20 cm mélyen	alpművelés: mélyszántás (35 cm) vagy lazítás (50 cm), tarlókántás: tárcsa (20-30 cm), szántást télre nem munkálják el	tarlókántás, gyomszabályozás tárcsával vagy grúberrel 3-4X évente, 15-20 cm mélyen	alpművelés: lazítás (lazítókés, 25 cm) tartlókántás: tárcsa (20 cm), két évente mélylazítás (40-50 cm)
tápanyagutánpótlás	istálló trágya 3-4 évente, 50-100 t/ha	minden évben: istállótrágya 30-50 t/ha, műtrágya: 150-200 kg N/ha	istálló trágya 3-4 évente, 50-100 t/ha	műtrágya (Karbamid), 130 kg N/ha, folyékony műtrágya (Nitrosol)
növényvédelem	-	gyomirtó, rovarölő, gombaölő	-	gyomirtó, rovarölő, gombaölő
szármaradvány kezelés	nem minden évben marad a területen	leviszik a területről állattartás miatt		a területen marad
segéd növény (service crop)	-	-		

3.4.4. A bugaci táblák bemutatása

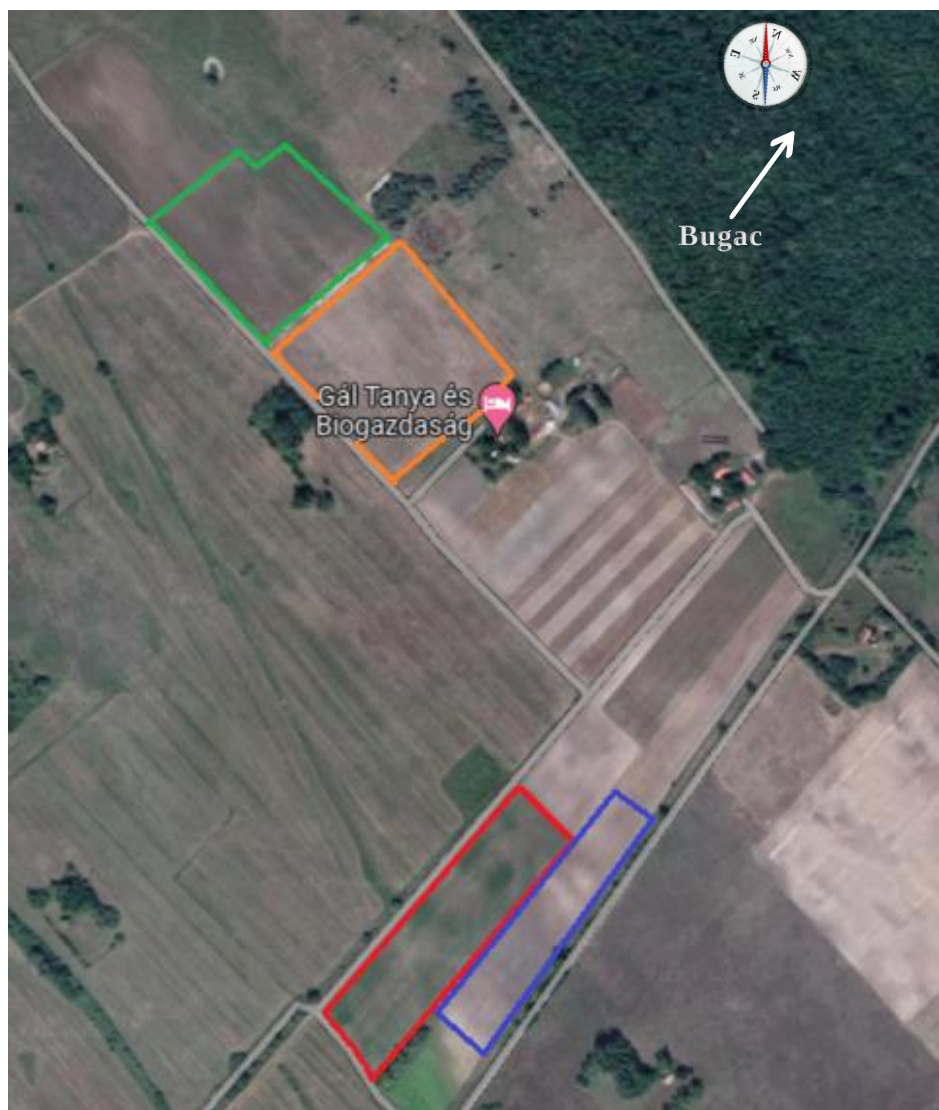
Bugac az Alföldön, a Duna–Tisza közén, a Kiskunsági-homokhátságon helyezkedik el. Évi középhőmérséklete 11,5 °C, évi átlagos csapadékmennyiége 550 mm. Bugacon mind a négy tábla egy gazdaságból származik, amelyet a mintavételt megelőzően 18 évvel állítottak át ökológiai gazdálkodásra. A gazdálkodó több tábláján használ takarónövényt, amelyet rávetéses és alávetéses módszerekkel is alkalmaz. Legfőképp takarmányt természet állatainak amely hozzájárul, hogy rendkívül diverz vetésforgóval dolgozik.

Az első tábla (a következőkben **Sekély-legel**) a 9. ábrán a pirossal jelölt terület, (47°26'59.2"N 18°30'17.1"E). Talajtextúra tekintetében homokos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai az 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Sekély, forgatás nélküli művelést alkalmaznak rajta és a gazda időnként ráengedi az állatait erre a táblára, hogy a tarlómaradványt, tarlóban feltörő gyomokat lelegeljék. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról az 6. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 4. mellékletben (M2).

A következő terület (a következőkben **Sekély1**) a 9. ábrán a kékkel jelölt terület (46°39'13.0"N 19°38'53.8"E). Talajtextúra tekintetében homokos-vályog kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai az 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Ez a terület hasonlóan művelt terület, mint a Sekély-legel tábla, azonban ez a terület állatokkal nem legeltetett. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 6. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 4. mellékletben helyezkedik el (M2).

A harmadik terület (a következőkben **Sekély2**) a 9. ábrán a zölddel jelölt tábla a 46°39'35.3"N 19°38'37.0"E. Talajtextúra tekintetében homok kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai az 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 6. táblázatban látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 4. mellékletben(M2).

Az utolsó bugaci terület (a következőkben **Sekély-taknöv**) a 9. ábrán a narancssárgával jelölt táblán (46°39'29.8"N 19°38'43.6"E). Talajtextúra tekintetében homok kategóriába esik. A tábla további talajtulajdonságai az 10. táblázatban az eredmények fejezetben található. Takarónövényeket alkalmaztak a területen. Összefoglaló a területen alkalmazott gazdálkodási gyakorlatról a 6. táblázaton látható, a gazdálkodási napló kivonata pedig a 4. mellékletben (M2).



9. ábra: A bugaci táblák bejelölve Google maps térképen. Piros - Sekély-legel, kék – sekély1, zöld – sekély2, Narancssárga – sekély-taknövény.

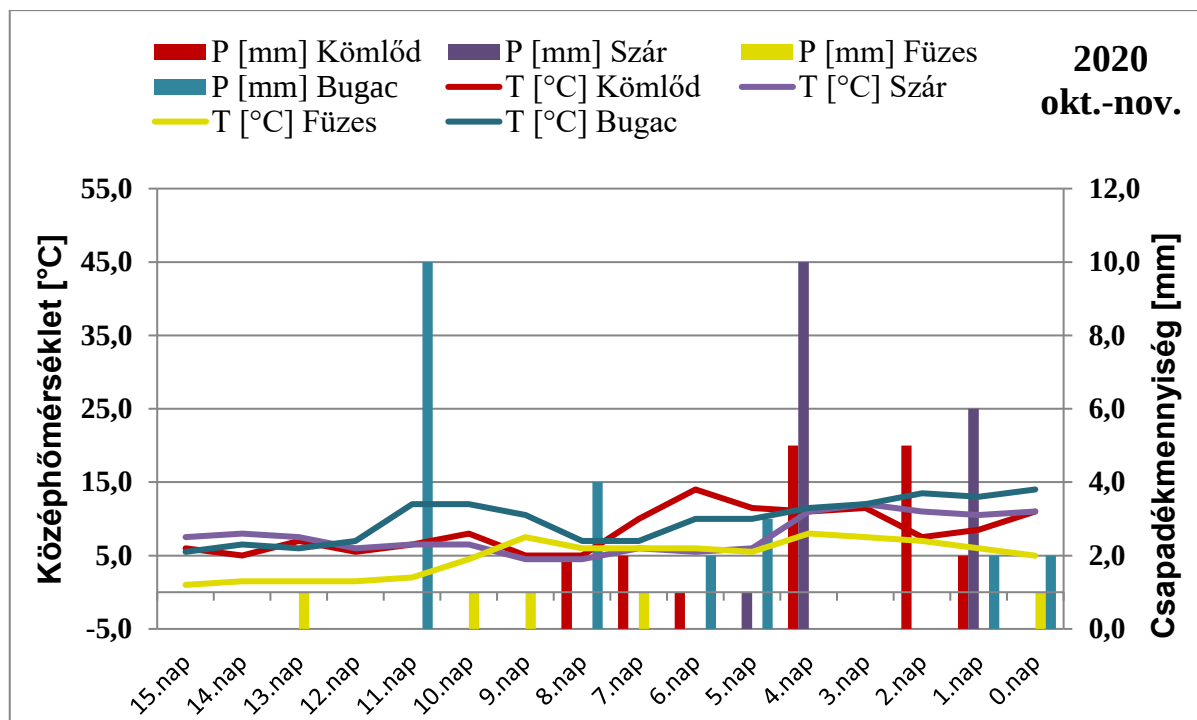
6. táblázat: A bugaci táblákon alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok összefoglalója az interjú és a gazdálkodási napló alapján.

	Sekély-legel	Sekály1	Sekély2	Sekély-taknöv
Ökológiai gazdálkodás	18 éve	18 éve	18 éve	18 éve
vetésforgó 2018 és 2021 között	vörös here, tritikálé, szudánifű, köles	tönkebúza, rozsos búkköny, rozs, gomborka	őszi árpa, rozs, somkóró, réparepce	rozs, honmoki bab, durum búza, rozsos búkköny
művelési rendszer	forgatás nélküli sekély művelés (6 cm mélyen)	forgatás nélküli sekély művelés (6 cm mélyen)	forgatás nélküli sekély művelés (6 cm mélyen)	forgatás nélküli sekély művelés (6 cm mélyen)
művelési gyakorlatok	rugós kultivátor, vertikális tárcsa	rugós kultivátor, vertikális tárcsa	rugós kultivátor, vertikális tárcsa	rugós kultivátor, vertikális tárcsa
tápanyagutánpótlás	istállótrágya 3-4 évente, szarvasmarhák legelnek a területen időnként	istállótrágya 3-4 évente	istállótrágya 3-4 évente	istállótrágya 3-4 évente
növényvédelem	-	-	-	-
szármaradvány kezelés	területen marad	területen marad	területen marad	területen marad
segéd növény (service crop)		zöldtrágya		takarónövény vetése

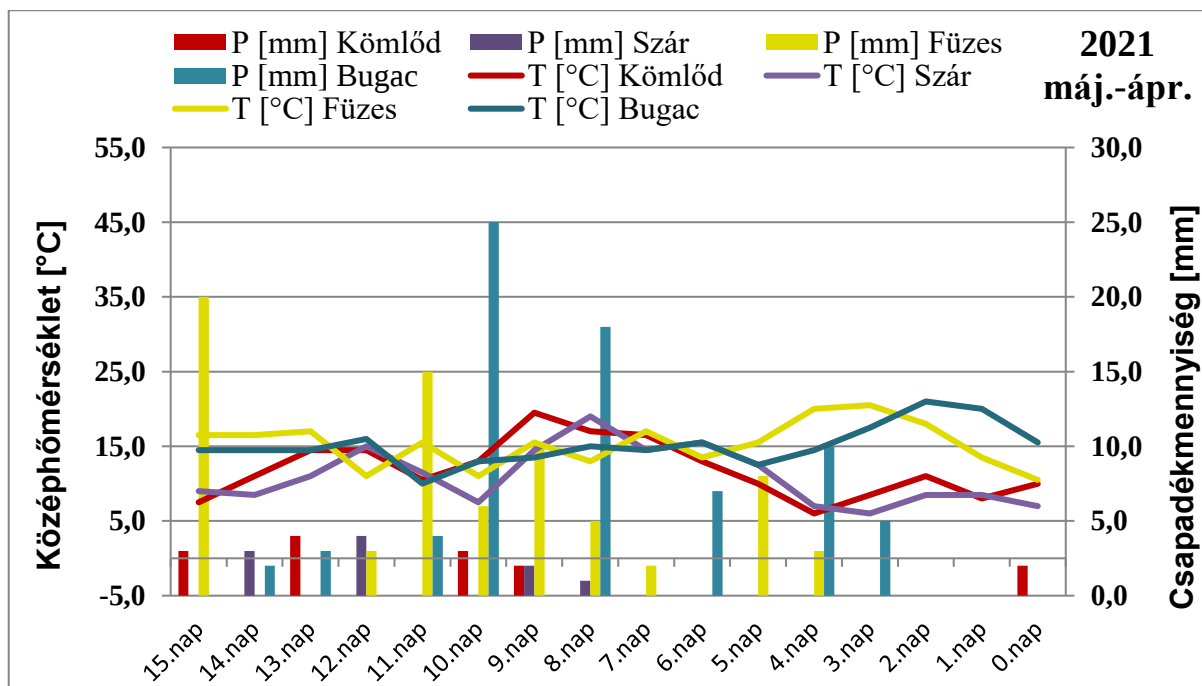
3.4.5. Talajmintavételezés és klimatikus tényezők

3.4.5.1. A klimatikus tényezők

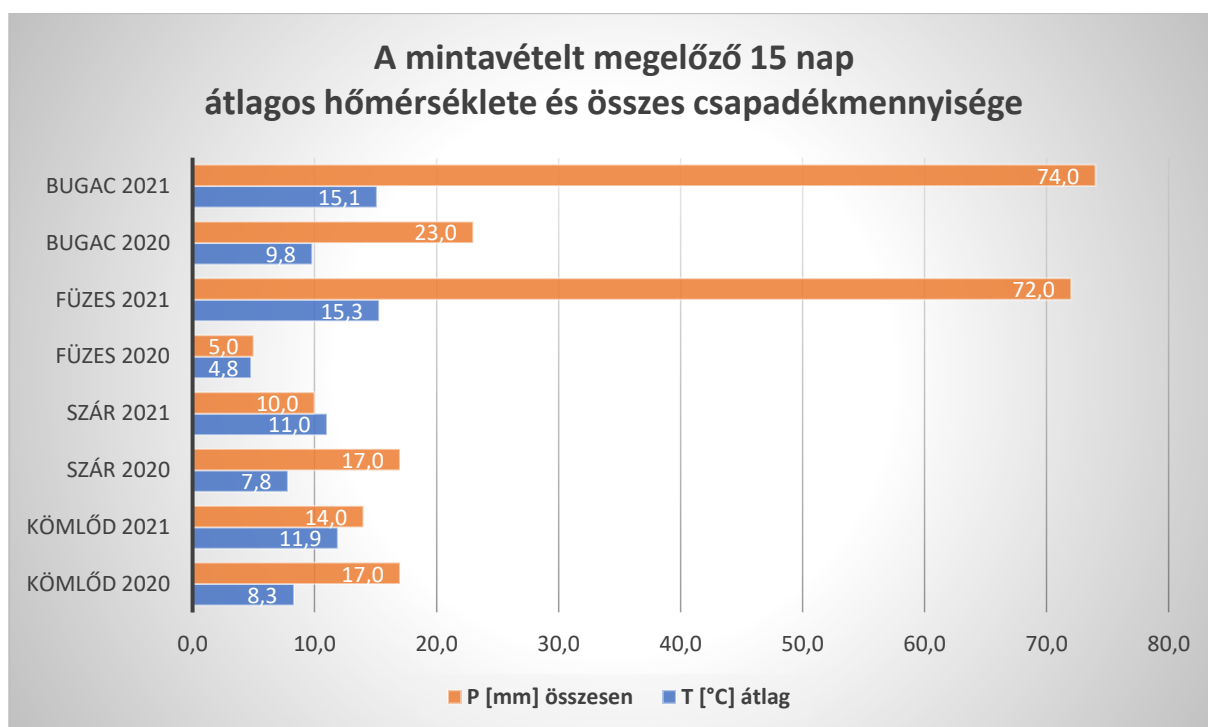
A talajmintavétel két időpontban történt 2020 őszén és 2021 tavaszán. 2020 őszén Bugacon november 9-én, Kömlődön november 13-án, Száron november 16-án és Füzesgyarmaton november 26-án történt a talajmintavételezés. 2021 tavaszán Kömlődön május 8-án, Száron május 9-én, Füzesgyarmaton május 24-én, Bugacon május 25-én volt történt a talajmintavételezés. A M2-es mellékletek között megtalálhatóak a gazdálkodási naplók kivonata, amelyekben jelölésre kerültek, hogy a mintavétel mikor történt, milyen állapotban voltak épp a talajok, milyen talajmunkálat előtt és után történt a mintavételezés. A 10–12. ábrákon látható a november és a májusi mintavételt megelőző 15 nap hőmérsékletének és csapadékmennyiségének alakulása.



10. ábra: Az on-farm kísérlet novemberi mintavételei napjának és az azt megelőző 15 nap hőmérséklet és csapadék viszonyainak alakulása a négy településen (Met.hu).



11. ábra: Az on-farm kísérlet májusi mintavételei napjának és az azt megelőző 15 nap hőmérséklet és csapadék viszonyainak alakulása a négy településen (Met.hu).



12. ábra: Az on-farm kísérlet két mintavételi időpontjának és az azokat megelőző 15 nap átlagos hőmérséklete és összes csapadékmennyisége a négy településen (Met.net.)

A mintákat 0-20 cm mélyről vettük egy kézi talajmintavevővel. A vizsgált táblákat négy részre osztottuk és minden részből 8 mintát vettünk, amelyeket aztán homogenizáltunk így a négy részen belül átlagmintákat képeztünk. Így minden tábláról végül négy ismétlés származott.

A talajminták egy részét hűtőben őriztük 5 °C-on az enzimaktivitás vizsgálat, a nematóda denzitás mérés és a mikroszkópos baktériumszámolás elvégzéséig. A biológiai vizsgálatokat a mintavétel után 1 héten belül elvégeztük. A talajminták egy részét pedig légszárazra szárítottuk azokhoz a vizsgálatokhoz, amelyekhez ez szükséges volt.

3.4.5.2. Talajok vizsgálata az on-farm kutatásban

Az on-farm kutatás során azokat a vizsgálatokat, amelyekről azt feltételeztük az irodalmak és a laboratóriumi tapasztalatok alapján, hogy lassan változó paraméterek, tehát a két mintavétel között eltelt idő alatt nem változnak kimutatható mértékben, azokat csak egyszer - a második mintavétel talajmintáin - végeztük el. Ilyen mérési módszer volt: a szervesanyag tartalom (SOM), a humusz minőség vizsgálatok (Hargitai-féle, E4/E6), a kémhatás vizsgálat (pH) és az aggregátum stabilitás (ASI). A könnyebben változó paramétereket mind a két mintavételi időpontban vizsgáltuk. Ilyen mérések voltak a: labilis széntartalom (POXC), a glomalin tartalom (GRSP), a dehidrogenáz (DHA) és a fluoreszcein-diacetát hidrolízis (FDA) enzimaktivitás és a nematóda denzitás. A baktériumok mennyiségét a második mintavételtől vizsgáltuk. A felsorolt talajvizsgálatok részletes leírása a 3.5.-ös fejezetben található

3.4.6. A gazdák véleménye, az interjú készítés módja

A vizsgált gazdaságok tábláiból vett talajminták elemzésén túl szerettük volna személyes tapasztalattal kiegészíteni azokat a mérési eredményeket, melyekre tudományos munkánk során

jutottunk. Beszélgetés során, a körülményeket megismerve, képesek vagyunk kontextusba helyezni az objektív adatokat, könnyebben követhetjük nyomon a változásokat és láthatunk ok-okozati összefüggéseket, valamint teljesebb képet alkothatunk mind arról, amit papíron vagy diagramokon látunk (Kvale, 2005).

Az interjúk semi-quantitatív módszerrel készültek. Strukturált kérdőívet alkalmaztunk, de néhány kérdés esetén felmerültek olyan információk és összefüggések, amelyek nem közvetlenül kapcsolódtak az adott kérdéshez. Az interjúban kitértünk a gazdaság alap adataira (hány hektáron mit termeszt stb.) az adott területeken használt talajművelési módokra, a tápanyagutánpótlás és növényvédelem módjára, továbbá az elmúlt években tapasztalt esetleges talajminőség-romlásra és/vagy annak regenerációjára, esetleg megelőzésére. Az interjúban feltett kérdések megtalálhatóak az M2-es mellékletben.

3.5. Mérési módszerek

A talaj szerves anyag mennyiségének meghatározása

A talaj szerves anyag mennyiségét (H%) Tyurin-módszerrel (Tyurin, 1951) határoztuk meg. A mintákból 0,3 g talajt mértünk ki, amihez 10 ml kénsavas kálium dikromátot adtunk. Főzőlapon, 5 percig forraltuk. Az elegy kihűlése után 150 ml-re hígítottuk desztillált vízzel. A keverékbe 10 csepp tömény foszforsavat és 5 csepp kénsavas-difenil-amin indikátort pipettáztunk. Az oldathoz végül 0,2 mol/l Mohr-só került, amellyel a zöld színbe való átcsapásig titráltuk. Az eredményeket az alábbi képlettel számolva kaptuk meg:

$$H\% = \frac{[A - (0,5 \times B \times f)] \times 0,2068}{m}$$

ahol:

A: oxidálószer (10 ml bikromát),

B: Mohr-só fogyása

f: Mohr só faktora (0,9456)

m: a bemért talaj tömege (g)

A talaj pH és EC értékének meghatározása

A talaj kémhatását potenciometriás méréssel állapítottuk meg. A mintákból 5 g légszáraz talajt mértünk ki, amelyhez 12,5 ml desztillált vizet adtunk. A szuszpenziót keverés után 24 óra állás után ADWA AD8000 készülékkel határoztuk meg. A vezetőképességet (EC) ugyanezzel a készülékkel határoztuk meg. Ebben az esetben 20 g légszáraz talajhoz 100 ml desztillált vizet adtunk, amiből az EC-t mértük.

A talaj humusz minőségének megállapítása

A humusz minőségének meghatározásához Hargitai (1963) módszerét alkalmaztuk. A különböző humuszanyagok egy komplex „keveréket” takarnak, melyeknek a pontos kémiai szerkezete még nem meghatározott. Ezek vizsgálatához sokféle klasszikus és modern műszeres analitikai

módszert próbáltak már. Vizsgálatuk azért nehéz feladat, mert nagyon különböző szerkezetű molekulákról van szó, és nem állnak rendelkezésre az analitikában használható standard anyagok. Az egyes humuszanyagok frakcionálhatók különböző oldószerekkel, de közben azok szerkezete megváltozik (Tannure et al. 2024). A NaOH-ban a savi karakterű valódi humuszanyagok oldódnak (fulvosavak, huminsavak), míg a NaF-ban a stabilabb szerkezetű, kondenzáltabb humin anyagok, így a vizsgálatok során ezeket használtuk. A két oldószeres vizsgálati módszerben a talajból 0,5 % NaOH-os és 1 % NaF-os kivonatot készítettünk. A mintákat 48 órát állni hagytuk, majd centrifugálás után a felülúszót spektrofotometriás módszerrel, 4 hullámhosszon (400, 480, 540, 670 nm) mértük. A kapott abszorbancia értékeket átlagoltuk. A több hullámhosszon való mérést az indokolja, hogy a humuszanyagok molekulatömege, és így fényelnyelése igen széles spektrumon változik. A módszerhez tartozó ún. Hargitai féle humuszminőség index a NaF-os és a NaOH-os szűrlet abszorbanciáinak hányadosa ($Q = E_{\text{NaF}}/E_{\text{NaOH}}$). A humuszstabilitási index pedig a következő képlettel számítható: $K = E_{\text{NaF}}/(H \times E_{\text{NaOH}})$, ahol a H a humuszmennyiséget jelenti.

A talaj aggregátum-stabilitásának vizsgálata (Soil aggregate stability – SLAKES)

A talaj aggregátum stabilitását a SLAKES alkalmazás használatával mértük Fajardo és McBratney (2016) módszere alapján. A légszáraz mintákból három talajmorzsát kell kiválasztani a méréshez. A morzsa mérete 4 és 8 mm között változott, és az alkalmazásban megtalálható utasításoknak megfelelően szimmetrikus volt. Az okostelefont meghatározott nagyságú fém tégelyre helyeztük és ragasztószalaggal rögzítettük a stabilitás megőrzése végett. Az aggregátumok fényképezéséhez két Petri-csészét használtunk, amelyeket fehér papírra helyeztünk. Először a három megszáradt morzsát egy üres Petri-csészébe helyeztük, majd az instrukcióknak megfelelően az alkalmazáson keresztül referenciaképként rögzítettük a kamerával. Az üres Petri-csészét ezután egy vízzel teli csészére cseréltük. Az aggregátumokat óvatosan, a referenciaképhez hasonló elhelyezkedésben helyeztük át ebbe a Petri-csészébe. Az aggregátumok elmerülését követően megnyomtuk a SLAKES indítógombját, ami elindította a 10 perces képalkotási periódust. 10 perc elteltével az okostelefon képernyőjén megjelent az aggregátum stabilitás index értéke.

A talaj nitrát-tartalmának meghatározása

A talaj ásványi nitrogén tartalmának meghatározásánál, a növények számára felvehető nitrát és ammónium mennyiségét vizsgáltuk. A méréshez talajkivonatot készítettünk. Ehhez kimértünk 40 g talajt a mintából és hozzáadtunk 100 ml 1n Kálium-kloridot. Az elegyet 1 órán át rázattuk majd szűrőpapír segítségével szűrtük. A meghatározáshoz főzőpoharakba 5-5 ml szűrletet mértünk, amikhez ViscolorEco 2 illetve 3 reagenseket adtunk. A fotométert a talajkivonatok színére kalibráltuk, ami után a mintákat fotometráltuk. Az eredményeket a készülék mg/l értékben adta meg, amit átváltva mg/kg formára (Fülek et al., 2011).

Talajok foszfor és kálium-tartalma

A talaj felvehető foszfor és kálium tartalmának meghatározásához (MSZ-02135:1999), azonos ammónium-laktátos (AL) kivonószert használtunk, ami 0,1 M Ammónium-laktátot és 0,4 M Ecetsavat tartalmaz. Az oldattal mérhetőek a vízzeloldható (aktuálisan felvehető) és a potenciálisan

felvehető tápelemformák. Mindkét vizsgálathoz talajkivonatot készítettünk, amihez rázóüvegekbe 5 g talajt és 100 ml AL-oldatot adtunk. 1 órán át ráztuk, majd szűrtük. A foszfor méréséhez a szűrletből 10 ml-t mértünk ki főzőpoharakba, amikhez 15 ml ammónium-molibdenátot és 1 ml aszkorbinsavas ón-klorid reagenseket adtunk. A kalibráló sor (reagenssel kezelt, ismert foszfor koncentrációjú oldatsor) felvétele után, a mintákat 438 nm hullámhosszon fotometrálunk Biochrom Libra S21 típusú spektrofotométerrel (2. ábra), meghatározva a transzmittanciájukat. A minták foszfor koncentrációjának meghatározása a kalibrációs egyenes egyenlete segítségével történt.

$$y = 0,0076x^2 - 1,2169x + 82,36$$

A felvehető kálium tartalmat lángfotométerrel határoztuk meg, ahol az emittált fény intenzitása arányos a kálium koncentrációjával. Először a készülék segítségével a kalibráló sort (ismert kálium koncentrációjú oldatsor) vettük fel, majd a talajmintákból készített szűrleteket juttattuk a műszerbe. A kalibráló sor fényintenzitás-koncentráció összefüggése alapján meghatározhatóvá vált a mintáink kálium koncentrációja (Füleky et al., 2011).

A talajminták nedvességének meghatározása

A talajnedvesség meghatározásához Füleky et al. (2011) gravimetrikus nedvességtartalom módszerét alkalmaztuk. A mintákat előzetesen lemért tömegű tégelyekbe helyeztük, melyekbe ~5 g mennyiségű nedves talajt mértünk ki, majd a tömegét pontosan lejegyeztük. 100 °C-on 24 órán át szárítószekrényben, súlyállandóságig szárítottuk a mintákat. Ezután a száraz talaj tömeget is meghatározva, a következő képlet alapján kaptuk meg a talajok nedvességtartalmát:

$$W\% = \frac{(m2)-(m3)}{(m3)-(m1)} \times 100$$

ahol:

W%: a talaj nedvességtartalma, (%-ban)

m1: az üres papírkosárka tömege (g)

m2: tégely + nedves talaj együttes tömege (g)

m3: tégely + száraz talaj tömeg (g)

A talaj Labilis (aktív) széntartalmának meghatározása

Labilis szén méréséhez Weil et al. (2003) módszerét használtuk. Kimértünk 1 g légszáraz talajt. Ezt követően 10 ml 0,02 M kálium-permanganátot adtunk hozzá és 5 percig ráztuk 125 RPM-en, majd 5 percig centrifugáltuk 3000 RPM fordulatszámon. A felülúszóból 200 ul-t kivéve, 10 ml desztillált vízzel hígítottuk. A kész mintákat 565 nm-en spektrofotométerrel vizsgáljuk.

Az aktív széntartalom az oxidálószer fogyással arányos, tehát a kálium-permanganát lila színintenzitásának csökkenésével, amely kisebb abszorpciót eredményez. Az eredmény kiszámításához és számszerűsítéséhez Blair et al, (1995) feltevését vettük alapul, miszerint 1 mol MnO_4 elfogyását ($Mn^{7+} \rightarrow Mn^{4+}$ redukció) 0,75 mol (9000 mg) C oxidálása eredményezi:

$$Aktív\ C \left[\frac{mg}{kg} \right] = Labilis\ C \left[\frac{mg}{kg} \right] = (0,02 - X) * 9000 \times 10$$

ahol:

X: standard mol/L szén.

(0,02-X): fogyott szén.

A talaj biológiai aktivitásának meghatározása Dehidrogenáz enzimaktivitás mérésével

A talaj biológiai aktivitását Thalmann et al., (1968) módosított DHA módszerével (Veres et al. 2013) határoztuk meg. A TTC (trifenil-tetrazólium-klorid) oldat fényérzékenysége miatt a vizsgálatokat sötét szobában végeztük. Mintánkként 3×1 g friss talajt mértünk ki (A, B és 0). Ezután a mintákhoz hozzáadtunk 4-4 ml Tris puffert, majd az A és B mintákhoz 1-1ml 3%-os TTC oldatot. A kontroll csak 1 ml Tris puffert tartalmazott. A vizsgálatához talaj nélküli vak mintákra is szükség volt, a szubsztrát spontán bomlásának kiküszöbölésére. 24 órán át 30°C-on inkubáltuk a mintákat, majd 4-4 ml metil alkoholt adtunk minden mintához, a reakció leállításához, és újabb 2 órán át szobahőmérsékleten tartottuk a mintákat. Ez idő alatt a mintákban a mikrobák működésével arányosan a TTC átalakul egy színes TPF molekulává, amely spektrofotometriásan meghatározható. A talajszuszpenziót centrifugába helyeztük és 546 nm hullámhosszon fotometráltuk. A kapott abszorbancia értékeket a következő képlettel számoltuk át aktivitás értéké:

$$\text{Dehidrogenáz aktivitás} \left(\frac{\text{TPF } (\mu\text{g})}{\text{száraz talaj } (g)} \right) = \frac{\text{TPF } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right) \times V}{\text{dwt} \times m}$$

ahol:

dwt: 1 g nedves talaj száraz tömege (g),

m: a kimért nedves talaj tömege (g),

V: a vizsgálat során a talajhoz adott oldat térfogata (cm³),

A TPF koncentrációkat (μg/ml) standard-görbéről leolvasva kaptuk meg.

A teljes mikrobiális aktivitás meghatározása Fluoreszcein-diacetát hidrolízis segítségével

A teljes mikrobiális aktivitás megállapítására Schnürer és Roswall (1982) módosított (Villányi et al., 2006) FDA (fluoreszcein-diacetát) módszerét alkalmaztuk. Az eljárás során a nem kontroll mintákhoz (A és B minta) a kémcsövekbe 1-1 g friss talajt mértünk ki, melyekhez 7,5 ml 60mM-os kálium-foszfát puffert és 0,1 ml fluoreszcein-diacetát törzsoldatot adtunk. A kontroll (0-s minta) mintákhoz FDA törzsoldatot nem kaptak, csak kálium-foszfát puffert. A vizsgálatához talaj nélküli vak mintákra is szükség volt, a szubsztrát spontán bomlásának kiküszöbölésére. A lombikokat inkubátorban, 60 percig 30 °C-on ráztuk. Az inkubációs idő lejárta után a 7,5 ml kloroformot adtunk minden mintához a reakció leállítása miatt. A mintákat centrifugáltunk 5 percig 3000-es fordulatszámon és spektrofotométerrel 490 nm hullámhosszon fotometráltuk a felülúszót. A végső eredményeket a következő számítással kaptuk meg:

$$\text{FDA aktivitás FDA} \frac{\mu\text{g}}{\text{száraz talaj } g} = \text{FDA} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right) \times \frac{V}{\text{dwt} \times m}$$

ahol:

dwt: 1 g nedves talaj száraz tömege,

m: a kimért nedves talaj tömege (g),

V: a vizsgálat során a talajhoz adott oldat térfogata (15 ml),

Az FDA koncentrációkat $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}}\right)$ standard-görbéről leolvasva kaptuk meg.

A Glomalin (GRSP) fehérje tartalom mérése

A könnyen kivonható glomalinnal fehérje (Rosier et al., 2006) méréshez (GRSP-EE, Easily Extractable Glomalin-Related Soil Proteins) először talajkivonatot készítettünk, amely tartalmazza a fehérjét. Ehhez kimértünk 2 g légszáraz talajmintát. 8 ml 50 mM-os Citrát puffert (pH=8) adunk a mintákhoz, majd 121 °C-ra 30 perc időtartamra autoklávba tettük. Ezt követően 15 percig 5000 RPM-en centrifugáltuk. A kivonat fotometrálság +4 °C-on tárolható. Felhasználáskor minden mintából kimértünk 100 µl-t amihez 4ml Bradford reagenst adtunk, összeráztuk és 40 percet állni hagytuk. Ezután a mintákat 595 nm hullámhosszon spektrofotométerrel meghatároztuk.

Baktérium és gomba abundancia vizsgálata mikroszkópos megfigyeléssel

A talaj táplálékháló analízist a Soil Food Web Inc. megalapítója Elaine Ingham dolgozta ki. A módszer lényege, hogy fénymikroszkóp segítségével azonosítani és számszerűsíteni tudjuk a fő mikroba csoportokat (baktériumok, gombák, sugárgombák, egysejtűek, fonálférgek). Adott mikroszkópos látótérben számolt mikrobák mennyiségéből következtetünk arra, hogy mennyi mikroba található az adott csoportból 1 ml talajban. A baktériumok kivételével a többi mikroorganizmus csoport populációjának számszerűsítéséhez üveg kémcsőbe 1 ml talajt kimérünk, amelyhez 9 ml desztillált vizet adunk. A kémcsövet lefedve 1 percen keresztül óvatosan a felső kar teljes monoton mozgásával „rázzuk”. Ezután autopipettával 0,05 ml-t kiveszünk a talajoldatból, amelyet tárgylemezre cseppentünk és azt 22x22 mm-es fedőlemezzel fedjük le. A fénymikroszkóppal végigpásztázzuk a teljes fedőlemez terét és feljegyezzük a fonálférgek számát. A gombafonalak számszerűsítéséhez 400x-os nagyításon 20 látótérben számoljuk a gombafonalakat, amelyeknek feljegyezzük szélességét (µm) és a látótérhez viszonyított hosszúságát (%). Látóterenként feljegyezzük a látott egysejtűek mennyiségét is.

A gomba-index kiszámolásához a következő képletet használjuk:

$$I = h \times d$$

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_{20} \text{ és}$$

$$d = (d_1 + d_2 + \dots + d_{20})/n$$

A baktérium számoláshoz hígítási sort képezünk és addig hígítjuk a mintát, amíg 400 x-os nagyítás alatt megszámlálható mennyiséget nem találunk. 5 látótérben megszámláljuk a sejteket, majd ezeket az eredményeket átlagoljuk. Végül, a kapott átlagot felszorozva a megfelelő hígítással, kiszámoljuk az egy milliliter talajszuszpenzióban megtalálható baktériumok tömegét.

Baktérium mennyiség meghatározásának képlete:

átlag baktérium szám/5 látótér x 0,05 csepp/ml (20) x hígítás x látótér mennyisége (3044db) x átlagos baktérium tömeg (0,000002 µg) = µg /ml

Szabadon élő fonálféreg abundancia vizsgálat

A fonálférgek számát Baermann-féle tölcséres futtatással nyertük ki (Viglierchio és Schmitt, 1983). A friss talajmintákból 25 g talajt mértünk ki műanyag szűrőbe helyezett kétrétegű papírtörlőre. A szűrőket üvegtölcsérre helyeztük, melynek aljára (a cső részre) gumicső került felhúzásra. A gumicsőveken műanyag csőszorítók akadályozták, hogy a víz kifolyjon. Desztillált vizet engedtünk a tölcsérbe, olyam módon, hogy a műanyag szűrő alját a víz épphogy érintse, így a talajjal találkozzon, de ne áztassa azt át. A fonálférgek így a nedvesség irányába indulnak és lemosódnak a gumicső aljába. 48 óra futtatás után a csőszorítót megengedve 15 ml vizet (amely tartalmazta a talajból kivándorolt fonálférgeket) kiengedtünk falkoncsővekbe. Stereo mikroszkóp segítségével 40 x-es nagyítással számoltuk négyzethálós műanyag edény segítségével a fonálférgek számát. A kapott eredmény 25 g talaj teljes fonálféregállományát mutatja.

A növényi biomassza meghatározása

A biomassza meghatározáshoz a kísérleti növények talajfeletti részeit lemértük, majd szárítószekrényben szárítottuk 105 °C -on 24 órán keresztül. A szárítás után ismét lemértük. A gyökértömeg meghatározáshoz a kinyert gyökereket szintén szárítószekrényben szárítottuk, majd mértük.

3.6. Statisztikai elemzés

Az adatok feldolgozásához IBM SPSS Statistics ver. 26 statisztikai programot használtam. A kutatásokban a különböző kezelések és összehasonlítandó területek statisztikai összehasonlításához egy és több tényezős varianciaanalízist (ANOVA, MANOVA) használtunk. Az adatok szóráshomogenitásának ellenőrzését Leneve's teszttel végeztük és a hibatagok normalitását Sharpio-Wilk vagy Kolmogorov-Smilnov teszt útján ellenőriztük. Kettőnél több kezelés esetén a páronkénti összehasonlításhoz Tukey vagy Games-Howel tesztet végeztünk.

A különböző paraméterek között az összefüggéseket Pearson-féle korrelációs együtthatóval vizsgáltuk. Az on-farm kutatásban a különböző településeken mért adatokat standardizáltam, hogy egy összesítő korrelációs vizsgálatot kapjak.

A talajtulajdonságok és a talajhasználat aggregátumstabilitásra mint válaszváltozóra gyakorolt hatását ún. random forest klasszifikációval vizsgáltuk a MATE, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Alkalmazott Statisztika Tanszékén, R 4.2.0 szoftverrel.

Ez a módszer komplexebb, nem lineáris összefüggések kezelésére alkalmas gépi tanulási módszer, ami nem érzékeny a hiányzó adatokra, kiugró értékekre, és nincsenek eloszlási feltételei sem. Feltételeztük, hogy on-farm monitoring adatok elemzésére jól használható akkor is, ha nem áll rendelkezésre teljes kísérleti elrendezés. Több százezer futtatásból azoknak az eredményeiket vettük figyelembe, amelyeknél a pontosság legalább 80% volt a tesztelő adatsoron.

Az aggregátumstabilitást faktor típusú változóvá alakítottuk, ahol három csoportot képeztünk az adatok eloszlása alapján: 1-es csoportba soroltuk az adatsor alsó kvartilise alá eső legkisebb értéket, 2-es csoportba soroltuk az alsó és felső kvartilis közé esőket, míg 3-as csoportba (legjobb aggregátumstabilitás) a felső kvartilisnél nagyobb értékeket.

A talajmenedzsment információkat faktor típusú változóvá alakítottuk a következők szerint:

- Talajművelés: 1) intenzív szántásos; 2) talajkímélő mulcsművelés
- Bio: a gazdaságok folytatnak-e ökológiai gazdálkodást: 0) nem; 1) igen
- Bio évek: 0) nem, 1) 2-4 éve, 2) 18-20 éve folytat ökológiai gazdálkodást
- Szervestrágya: 0) nem használnak, 1) alkalmanként; 2) rendszeresen nagyobb adagban

A talajtulajdonságok egy részét faktorként, másokat folytonos változóként vontunk be a modellbe:

- Talajtextúra: 1) homok, 2) homokos vályog, 3) vályog, 4) agyagos vályog
- Karbonátok: 0) nem karbonátos, 1) karbonátos
- EE-GRSP: aktuális könnyen kivonható glomalin, mint folytonos változó
- Szervesanyag: Tyurin-féle humusztartalom, mint folytonos változó
- Q-Hargitai és E4/E6: Hargitai-féle humuszminőség indexek, mint folytonos változók

Az on-farm kísérleten belül a méréseket, amelyekről az irodalmak és tapasztalatok alapján azt feltételezzük, hogy fél év alatt nem változnak olyan jelentősen, hogy az kimutatható legyen a vizsgálatokkal, csak a második mintavételi pont-ból származó mintákon végeztünk el. Ilyen volt a humusz mennyiség és minőség, pH, aggregátum stabilitás.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

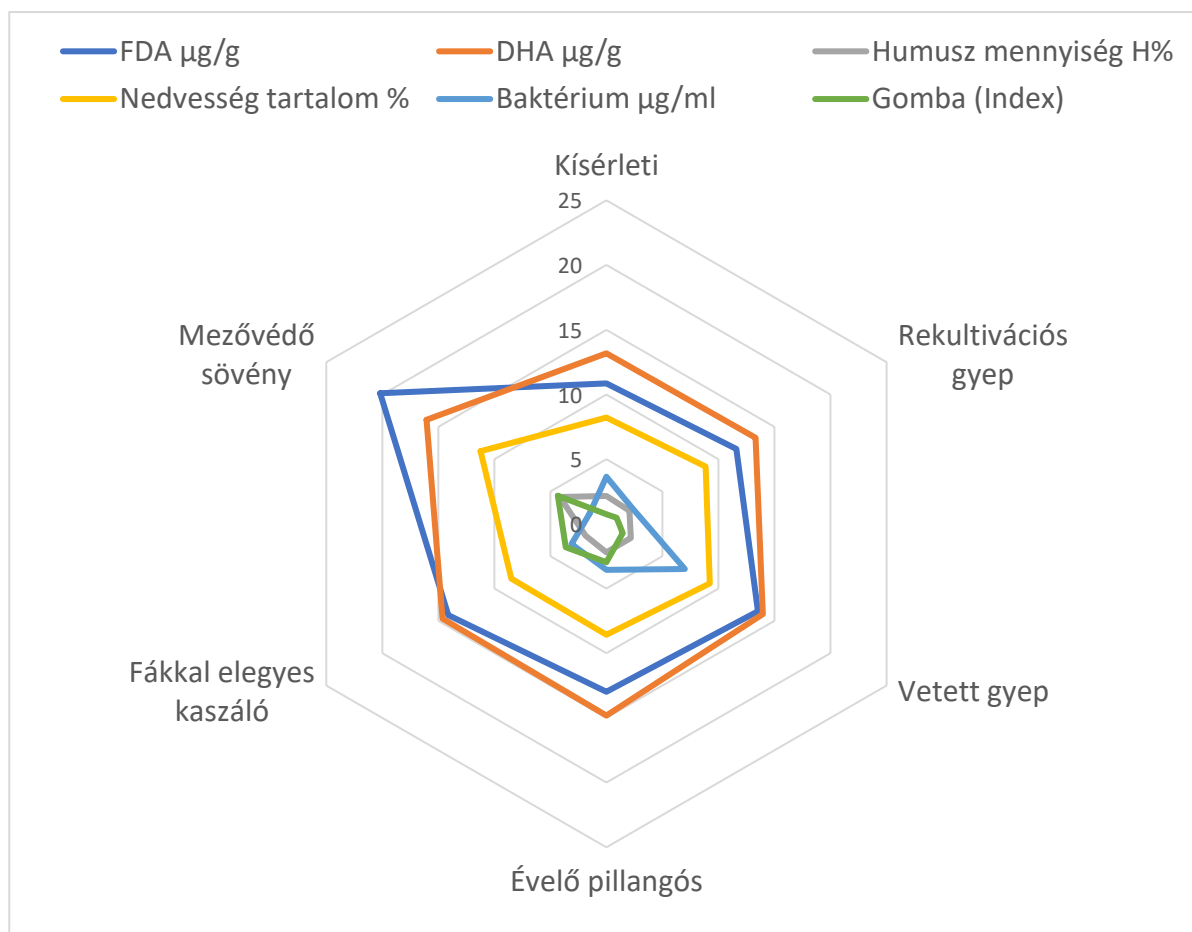
4.1. Az előkutatás eredménye és értékelése

Habár az előkutatásban, minden területről egy kompozit minta származott, és a vett minták eredményeit sok agrotechnikai lépés befolyásolhatta, trendek kirajzolódtak az eredményeket tekintve, amelyek megalapozták a további kísérletek kutatási irányát. A kapott eredmények hasonló képet mutatnak, mint egy kötelező szűkített vagy bővített talajvizsgálat eredményei, csak éppen kiegészítve néhány nem megszokott talajvizsgálattal.

A két mintavételi időpontban vett minták eredményeit átlagoltuk és a tápelem vizsgálatok kivételével pókháló diagramon ábrázoltuk (13. ábra) a mért paramétereket, amely jól szemlélteti a különböző talajhasználati múltú területek jellegzetességeit. A különböző paraméterek 'kicsúcsosodnak' a magasabb értékek irányába megmutatva, hogy melyik terület eredményezte a

legmagasabb értékeket. Látható, hogy a Mezővédő sövény felé csúcsosodik ki a legtöbb mutató a baktérium mennyiség kivételével és az intenzíven művelt területnél 'ellaposodnak' a mutatók.

A DHA és az FDA enzimaktivitás vizsgálati módszer a mezővédő sövényben mutatta a legmagasabb értéket (13. ábra). A következő legmagasabb értékeket az élő pillangós és a fákkal elegyes kaszáló adta, a legalacsonyabbat az intenzíven művelt terület mutatta. Tehát ahol az irodalmi adatok alapján az enzimaktivitás igazoltan magasabb lehet, mint például egy fás bolygatatlan területen, ott mind a két módszer kimagasló értékeket mutatott a többi területhez képest. Azt is tudjuk, hogy a talajok nagymértékű bolygatása hosszútávon csökkenti a biológiai aktivitást (Zuber és Villamil, 2016), ez a megállapítás magyarázza a mért adatokat.



13. ábra: Pókháló diagram a különböző talajhasználatú talajok legfőbb mérési eredményei alapján.

Ahol a legmagasabb humusztartalmat szintén a a mezővédő sövény talajában mértük. Ezen eredmény nem meglepő, hiszen az irodalmak alapján már ismert tény, hogy a nagyobb biológiai aktivitás elősegíti a humuszképződést (Fülek et al., 2011), továbbá fordítva is igaz, a magasabb szervesanyag tartalom jobb életfeltételeket biztosít a talaj élővilág számára. A mezővédő sövény talajára lehullott lomb folyamatos szerves anyagot biztosít, amely folyamatos táplálékot biztosít a mikroorganizmusoknak ezzel segítve a szervesanyag felhalmozódását (Zuber és Villamil, 2016). Ahol nedvesebb a talaj ott a mikrobáknak a kedvezőbb életfeltételek biztosítottak, így azok élettevékenysége és aktivitása fokozódik (Tugel et al., 2000). Ez a mezővédő sövény

eredményeiben is megmutatkozik, miszerint a legmagasabb nedvességartalom érték is a mezővédő sövényben mutatkozott. A humusztartalom összefüggést mutat a nedvességartalommal, ami a talaj szervesanyag tartalmának vízmegtartó képességéből fakad (Füleky et al., 2011). Az élő pillangós terület (3-as számmal jelölt parcella) az enzimaktivitás tekintetében is magas értékeket hozott a különböző területekkel összehasonlítva, és az eredményekből visszaköszön a lucerna nitrogén fixációjából adódó magas nitrogén mennyiség a talajban (7. táblázat). Magas nitrát és ammónium mennyiséget mértünk, valamint a humusztartalom is a második legmagasabb értéket vette fel. A pillangós növények fokozzák a szervesanyag felhalmozódását a talajban (Kumar et al., 2018). A magas nitrogén jelenléte fokozza a biológiai folyamatokat, jobb C:N arányt eredményez a talajban amely fokozza a mikrobák lebontó tevékenységét (Kumar et al., 2018).

Az intenzíven művelt terület nitrát és ammónium tartalma azonban magas volt a többi területhez képest (7. táblázat). Ez azzal a folyamattal magyarázható, hogy a talaj levegőztetése fokozza az aerob mikroorganizmusok tevékenységét, amely serkenti a talaj szerves anyag tartalmának lebontását (Ángyán és Menyhért, 1997), így a szerves kötésben lévő nitrogén átalakítása ásványi formába szintén fokozódik (Jenkinson, 1990). Tehát ez a folyamat a szerves kötésű nitrogén tartalmát csökkenti a talajnak, az ásványi nitrogén, amely azonban igen mozgékony nagyobb mennyiségben tud jelen lenni.

7. táblázat: A különböző talajhasználatú táblák tápanyag-ellátottsága.

	Ammónium NH₄⁺ (mg/kg)	Nitrát NO₃⁻ (mg/kg)	Foszfor AL-P₂O₅ (mg/kg)	Kálium K₂O (mg/kg)
Intenzíven művelt terület	4,5	6,5	922,69	278,2
Rekultivációs gye	3,5	3	1221,91	389,8
Vetett gye	3,5	2	1037,43	232,8
Élő pillangós	5	4,5	1219,62	325,6
Fákkal elegyes kaszáló	4,5	2	1021,68	342
Mezővédő sövény	4,5	3	1113,92	499,2

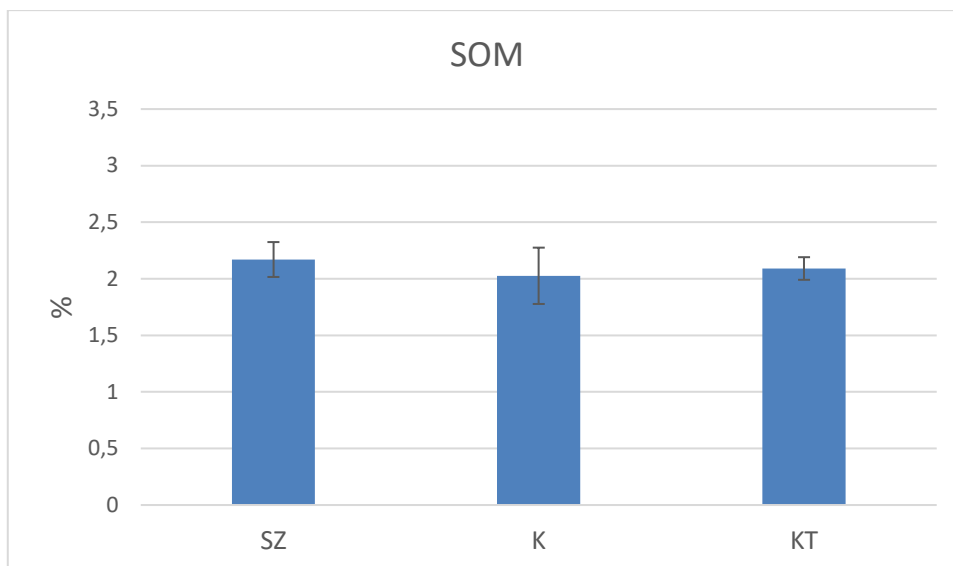
Vizsgálataink során megfigyeltük azt is, hogy a mezővédő sövény talajában, ahol minden esetben a legmagasabb enzimaktivitást mértük, ott nyáron a második legalacsonyabb és ősszel pedig a legalacsonyabb baktérium mennyiség mutatkozott. Meglepő ez az eredmény, hiszen azt feltételeznénk egy biológiailag aktív talajról, hogy abban több baktérium fellelhető. Azonban egy jó minőségű, egészséges talajban a táplálékháló sokkal diverzebb képet mutat. Egyre több olyan talajlakó taxonómiai csoport lesz jelen, mint a mikroszkópikus gombák, az egysejtűek, a fonálférgek stb., amelyek táplálkozásukkal a baktérium populációjának szabályozásában vesznek részt (Ingham, 1999). A talajok természetes kialakulásának szukcesszós folyamatában folyamatos változások figyelhetők meg a gomba-baktérium arányban, a gombák lassú felszaporodásának üteme szerint. A termékeny talaj kialakulásának kezdeti fázisában előbb a baktériumok dominálnak, amely arány később a gombák irányába tolódik el. Így a gomba-baktérium arány lehet a talajváltozás irányának egyik javasolható indikátora. Tehát a kevesebb bolygatással művelt talajokban nagyobb a gombák jelenléte (Bailey et al. 2002). Ezt a gomba index eredménye is alátámasztja, melyben láthatjuk, hogy a mezővédő sövény talajában ugyan a legalacsonyabb baktérium mennyiséget találtuk ott volt a legmagasabb gomba mennyiség is.

A mikroszkópikus gomba index az intenzíven művelt területen mutatkozott a legalacsonyabbnak, mely köszönhető annak, hogy a gombák jelenlétének nem kedvez a talajbolygatás (Zuber és Villamil, 2016; Li et al., 2020; Chen et al., 2020). Ez a terület mutatkozott a leglúgosabbnak, amely adat összefügg az itt meghatározott gombamennyiséggel. Ugyanis, ha a talaj gomba-baktérium aránya a gomba javára nő, azzal együtt csökken a pH-ja, hiszen a gombák a savas közeget, míg a baktériumok a lúgos közeget preferálják (Fehér, 1954; Lowenfels és Lewis, 2010).

Az előkutatásban teszteltük a talaj táplálékháló analízist, amely módszer segítségével meghatározható a fő mikroba csoportok abundanciája, úgy, mint baktériumok, gombák, fonálférgek és egysejtűek (protozoák). A vizsgálat előnyei, hogy a kutató saját szemével láthatja az élőlényeket és direkt módon tudja számszerűsíteni azokat. A vizsgálat olcsó és nem igényel laboratóriumi körülményeket. Ezen előnyeit tapasztaltuk a vizsgálatok során. Azonban a vizsgálati eredmények és tapasztalatok azt mutatták, hogy a talajban a felsorolt élőlények közül a fonálférgek, az egysejtűek nincsenek akkora sűrűséggel jelen, hogy az 20 mikroszkópos látótérben (pontos meghatározás a 3.5. fejezetben) számszerűsített mennyiségük megfelelő és valós adatot nyújtson. Így gyakran előfordult, hogy a 20 látótérben például egyetlen egysejtűt sem találtunk, amely a végén az adatokban nullának számít, holott lehet, hogy csak épp egy sem esett bele a kiválasztott látótérbe. Több látótér vizsgálata azonban nagyon meghosszabbítaná a vizsgálat menetét, amely így is rendkívül sok időt vesz igénybe és a szemet is terheli. A gombafonál és baktérium mennyiség meghatározására azonban sikeresen alkalmazható, amelyet vizsgáltunk a későbbiekben is. A baktérium sejtszámolásnak azt a hátrányát tapasztaltuk azonban, hogy a hígítás megnöveli a hibalehetőséget. Továbbá a vizsgálat során a szubjektivitás is befolyásolhatja az eredményeket, mivel a mikroszkópon keresztül nem minden esetben egyértelmű, hogy baktériumot látunk vagy ásvány szemcsét. Így rendkívül fontos a gyakorlott szem a mikroszkópos vizsgálat során.

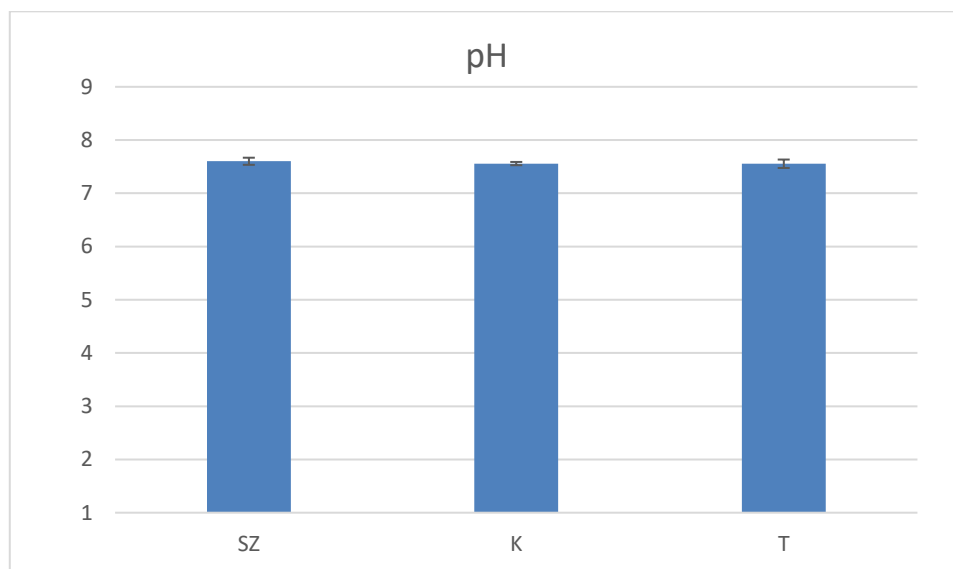
4.2. A rövidtávú szabadföldi kísérlet eredményei és értékelésük

A fizikai-kémiai tulajdonságok között a humusz és a talaj szervesanyag (SOM) vizsgálatok a leginkább elterjedtek. A humusz- és a szintén elvégzett pH-vizsgálatok nem mutattak ki szignifikáns különbséget a kezelések között a rövid-távú, 2 évest felölelő vizsgálatok során (14-15. ábra). A humusztartalom-mérés ugyanakkor javasolt a különböző talajgazdálkodási módszerek értékelésére és a legfontosabb talajegészség indikátorok közé is (Stott; 2019). Számos kutatás igazolta azt, hogy megbízható mutatónak bizonyul a különböző talajkímélő művelések pozitív hatásának kimutatására is (Mäder et Berner, 2012; Littrell et al., 2021; Juhos et al., 2024) Az említett kutatások azonban általában „csak” hosszútávon mutatnak ki változást a szervesanyag tartalom mennyiségnek növelésében. A tanulmányok többsége megerősíti a legjobb talajegészség indikátorokkal kapcsolatban, hogy a talaj szervesanyag-tartalma relatíve lassan változik, 3-tól 5 évre van szükség legalább ahhoz, hogy szignifikáns változások jelenjenek meg. Ez lehet az oka annak, hogy a vizsgálatok során a viszonylag rövid két év alatt nem változott kimutathatóan a humusztartalom a vizsgált területünkön.



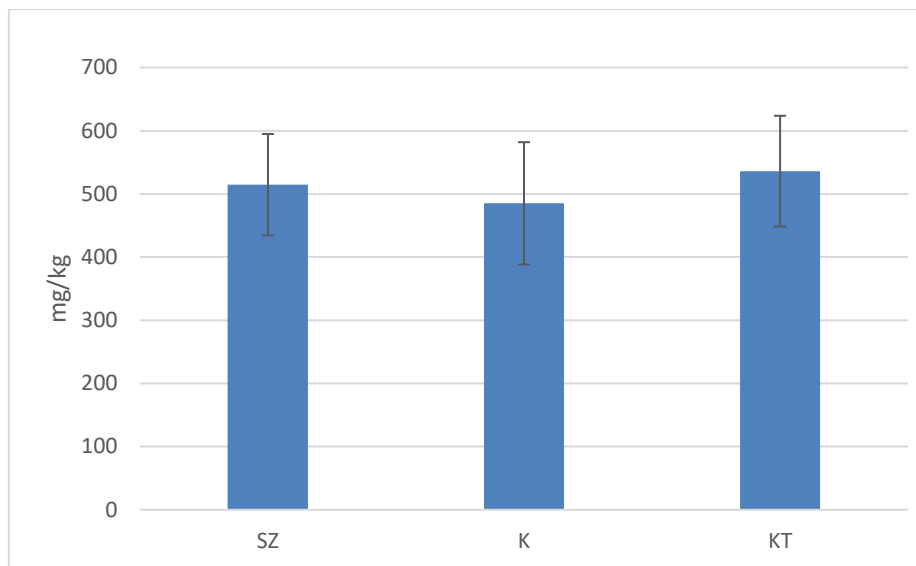
14. ábra: A SOM (%) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövénnyel) hatására a 2020-as mintavétel alapján.
[MATE Kísérleti és Tanüzem, Öko-Ágazat, Soroksár, 2020]

Ugyanezek az eredmények elmondhatók a pH-vizsgálatánál is. Általában a pH egy olyan talajegészség indikátor, amely lassan változik a talajkezelés megváltoztatásának hatására Raghavendra et al. (2020) szerint is. Ennek az állításnak a helyénvalóságát kísérletünk is igazolta, mivel a pH értékben nem sikerült kimutatni szignifikáns különbséget a különböző talajhasználatú helyek talaja között a rövid, 2 éves időszak alatt.



15. ábra: A pH értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövénnyel) hatására a 2020-as mintavétel alapján.

A talaj szerves anyagának labilis készlet ezzel ellentétben általában gyorsan tud reagálni a talajt érő behatásokra, ezért tartják alkalmasnak a talajkímélő művelés hatásának kimutatására már néhány év után is (Weil et al. 2003; Bongiorno et al., 2019; Xu et al., 2011). A kísérletünk nem volt összhangban ezzel a megfigyeléssel, mivel mindössze csak 2 év állt rendelkezésre a vizsgálatokhoz (16. ábra).



16. ábra: A labilis szén (POXC) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések ((SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövénnyel) hatására a 2020-as mintavétel alapján.

A két mintavételi időpontban mért vizsgálatok eredményei összegezve a 7. táblázatban láthatók. A nitrát tartalom eredményei nagy szórást mutattak. A nitrogén különböző talajban megtalálható formáit tekintve a nitrát egy könnyen mozgó talajoldatban megmaradó elem, míg az ammónium a talajkolloidok felületén található és így kevésbé mozgékony elem (Stevenson, 1965). Talán a kisebb szórás is mutatja, hogy az ammónium stabilabb értéket vett fel mind a két mérésnél, míg a nitrát nagy szórással és az évek között is nagy különbséggel volt kimutatható. Hogy a növények számára elérhető legyen az ammónium, a baktériumok átalakító tevékenységére van szükség (Tinker, 1984). Az SZ területen vélhetően a kisebb enzimaktivitás miatt kevésbé került sor az ammónium átalakítására, ezért kis különbség figyelhető meg az eredmények között.

A nitrát nagy eltérése az SZ területen két mintavételi időpont között, az intenzívebb talajmozgatás következménye lehet. A talaj intenzívebb levegőztetésének hatására átmenetileg nő a mikrobák aerob tevékenysége, amely nagyobb fokú mineralizálódást eredményez (Ángyán és Menyhért, 1997); ezt mutathatja az általunk mért magasabb nitrát tartalom. A mineralizálódott nitrogén azonban a következő mintavételig feltételezhetően felhasználásra került a vetett növény és a gyomok által, mivel ebben az esetben az SZ-ben mértük a legalacsonyabb nitrát értéket.

2. táblázat: A különböző talajparaméterek alakulása a két mintavételi évben.

[SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövényvel]

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	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	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	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

Az enzimaktivitás eredményei alapján a dehidrogenáz (DHA) enzimaktivitás érzékenyebbnek bizonyult az előkutatással ellentétben a különböző talajkezelések közti különbségekre, ugyanis ennél a mérésnél szignifikáns különbség adódott az SZ és a KT művelés között. A szignifikánsan magasabb DHA a takarónövényes parcellák javára mutatott különbséget. Mivel a K (kontroll) területek talajában is szignifikánsan alacsonyabb értékeket kaptunk, ezért feltételezhetjük, hogy a takarónövények jelenléte az, ami a magasabb biológiai aktivitást eredményezte. A takarónövények az élő gyökerekkel fokozzák a talajok biológiai aktivitását. Egy 2016-os kutatásban (Chavarría et al., 2016) no-till művelés mellett vizsgálták, hogy van-e hatással a biológiai aktivitásra a takarónövények alkalmazása, és azt találták, hogy a takarónövények szignifikánsan magasabb DHA-t és FDA-t eredményeztek a kontrollhoz viszonyítva. Egy másik hasonló kutatás (Feng et al., 2021) öt on-farm kísérlet alapján megállapította, hogy a takarónövények hosszútávú alkalmazása látványosan pozitív hatással van az FDA-ra, azonban azon a területen, ahol még csak pár éve alkalmaztak takarónövényt, nem volt kimutatható különbség. Három év ebben a kutatásban sem volt elég arra, hogy az FDA kimutassa a takarónövények hosszabb távon már jelentkező általánosan kedvező hatását. Ha a talajkímélő művelést, mint egyedüli módszert tekintjük, akkor a két év időtartam még nem volt elég arra, hogy szignifikáns különbség legyen észlelhető a hagyományos műveléssel összehasonlítva kísérletünkben.

Ennek ellenére egy 2023-as meta-analízis (Wen et al., 2023) kimutatta, hogy a talajkímélő művelés különböző mértékben, de szignifikánsan pozitív hatással van szinte az összes típusú talajenzim aktivitására. A tanulmányból kiderül, hogy a dehidrogenáz enzim a 6. leggyakoribb enzim, amelyet ilyen kutatásokban általában mérnek, mérni szoktak. A Fluorescein-Di-Acetát (FDA) enzimet kevesebb kutatásban alkalmazták, mivel ez nem kapcsolható specifikus mikrobacsoportokhoz, hanem a talajok összes, átlagos lebontó-képességét (katabolikus aktivitását) mutathatja meg. Egy 2017-es indiai kutatás szerint (Kumar et al.) mindkét enzim, a DHA és az FDA is képes volt szignifikánsan magasabb értékeket adni a talajkímélő művelésben összehasonlítva a hagyományos műveléssel. A kimutatott különbségek azonban egy 5 éves kísérlet eredményei voltak. Szostek et al. (2022) ezzel összehasonlítva már egy 2 éves kísérletben is

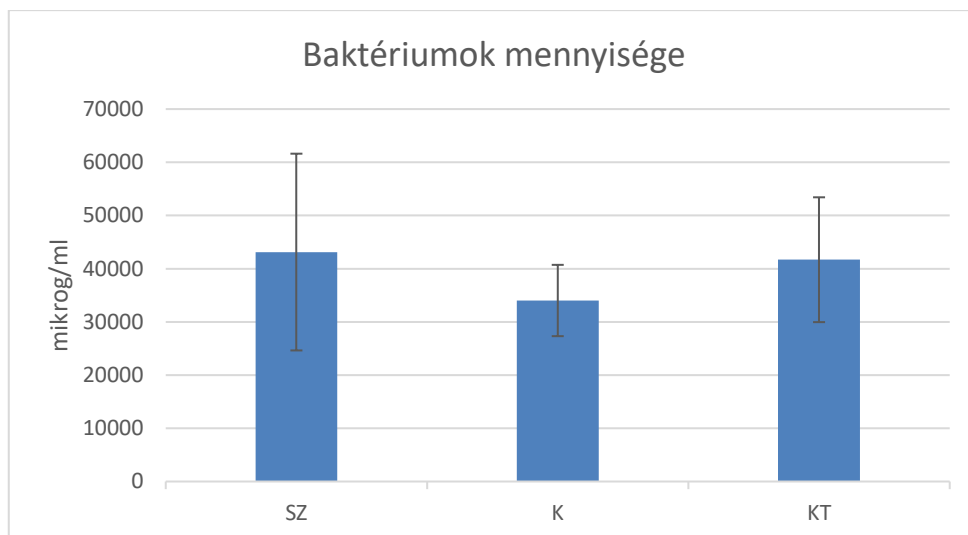
szignifikáns különbséget mutatott ki a DHA-val a különböző talajművelések között, hasonlóan az itt bemutatott eredményekhez. A szabadföldi kísérlet eredményei alapján és az irodalmi adatokkal is alátámasztva az on-farm kísérletek során a már csak a dehidrogenáz enzimet vizsgáltuk a talajokban. A választást az is indokolja, hogy a DHA enzim olyan szabványozott módszer, amit az országos Talajinformációs Monitoring (TIM pont) rendszer is alkalmaz, és a különböző hazai helyszínekre vonatkoztatva közel 30 éves adatbázis áll rendelkezésre (Tóth et al. 2015).

Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák aktivitására utaló *könnyen extrahálható glomalin tartalom* (GRSP) adatai szerint a különböző talajkezelések között nem mutatkozott számottevő különbség egyik mintavételi időpontban sem; az évjárat hatás azonban jól megfigyelhető az adatokból (7. táblázat). Két év alatt még nem keletkeztek kimutatható és kellően érzékeny különbségek a kezelések között jelen kísérleti körülmények alatt. Ez az eredményünk nem támasztja alá azt az irodalmi megállapítást, amely arról számol be, hogy a különböző gazdálkodási gyakorlatok már három év után is különbséget eredményeztek a glomalin tartalomban (Koberski et al., 2020). A glomalin leginkább a mikorrhiza gombák mennyiségével és a növényi gyökérkolonizációval van összefüggésben, amit befolyásol még a talajok szerkezete, agyagásvány-tartalma, az organominerális komplexek (Wright és Anderson 2000). A mikotróf növények gyakoribb alkalmazása a takarónövényekben is az egyik módszer lehet a glomalin-mennyiségek és így közvetve a talajok szerkezetének a javulásához (Haddad és Sarkar, 2003; García-González et al., 2023).

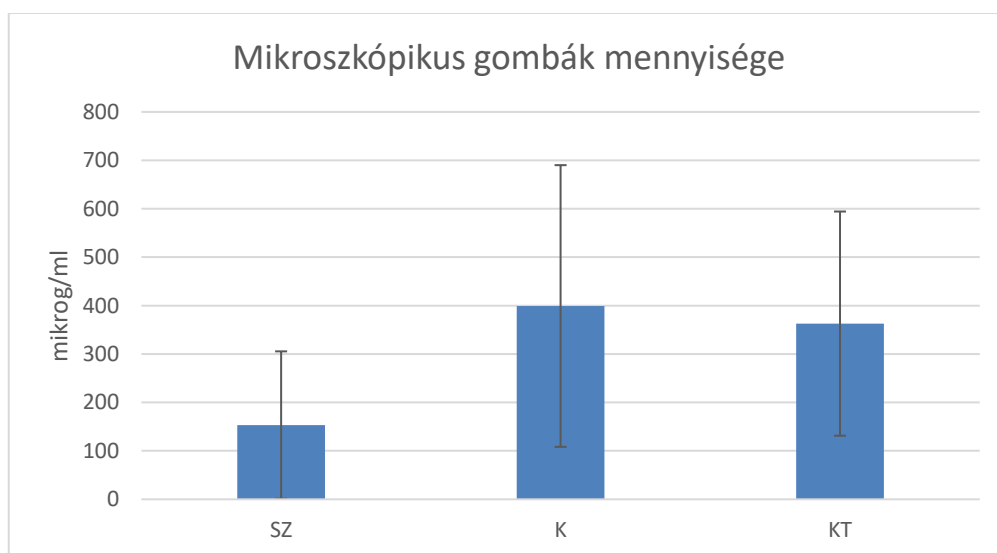
A 7. táblázat alapján láthatjuk azt is, hogy minimálisan magasabb érték mutatkozott több talajfizikai tulajdonságban a hagyományos művelésnél a többi kezeléshez viszonyítva, amely azzal lehet összefüggésben, hogy a hagyományosan művelt területeken nagyobb nedvességtartalmat mértünk. Másrészt a kísérleti területek talaj tulajdonságai és az alkalmazott növényborításban voltak eltérések a szakirodalomban megjelölthöz képest. A nedvességtartalom (7. táblázat) nem mutatott szignifikáns különbséget a különböző talajkezelések között, mégis a szántásos területen adódott mindkét évben a legmagasabbnak. Ez magyarázható azzal, hogy a szántás rövidtávon javíthatja a talaj vízbefogadó és vízmegtartó képességét (Birkás, 2006). A takarónövények pedig rövidtávon a talaj víztartalmát jobban párologtatják, amire a megfelelő idejű terminálással is figyelni kell (Unger és Vigil, 1998).

A 2019 nyarán végzett mikroszkópos baktérium-számolás eredménye nagy szórások kísérletében, de mutatott némi különbséget a kezelések között, azonban ezek nem voltak szignifikáns eltérések. Megfigyelhető, hogy az SZ kezelés mutatta a legalacsonyabb átlagos gombamennyiséget és a legmagasabb átlagos baktérium mennyiséget (17. ábra).

A mikroszkópos gomba-fonalak mennyiségi és minőségi vizsgálata a mikroszkópos módszerrel idő-igényes és fizikailag is megterhelő a szemnek. A baktériumok számolása gyorsabb és megbízhatóbb eredményeket ad, bár a hígítások miatt megnő a hibalehetőség és az adatok szórása is, csökkentve ezzel a kimutatás pontosságát. Az on-farm kutatásban a leírtak miatt a talajtáplálékháló vizsgálat mikroszkópos eszközeivel a mikroorganizmusok közül már csak a baktériumok abundanciáját vizsgáltam (18. ábra).



17. ábra: Az összbaktériumok mennyiségének (mikrogramm/ml) alakulása a különböző talajkezelések hatására 2019-es nyári mintavétel alapján mikroszkópos számolás alapján. [SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövényvel]



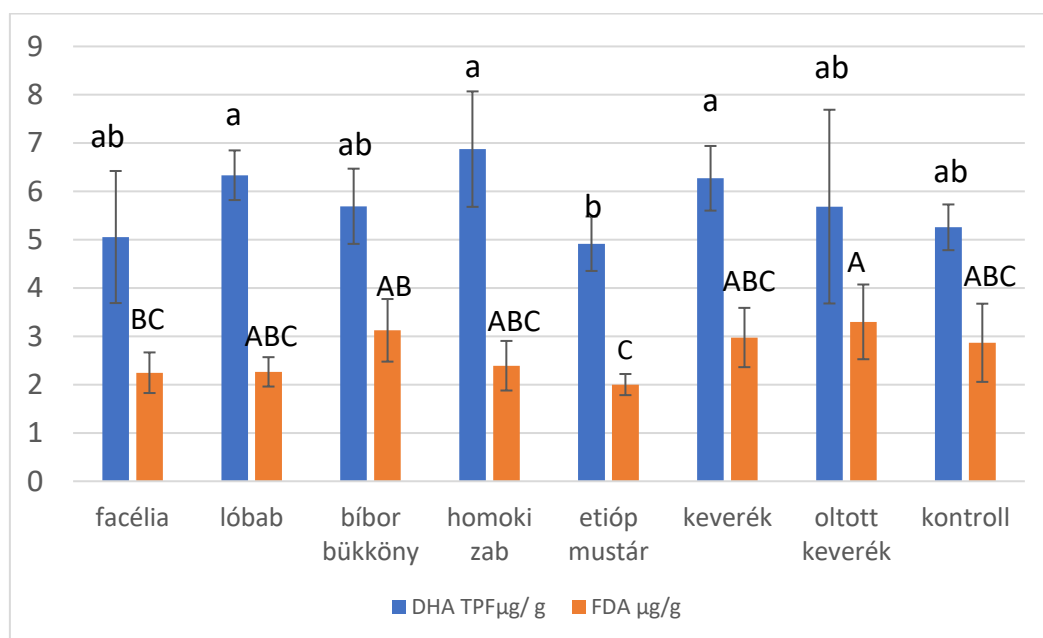
18. ábra: A mikroszkópikus gombák mennyiségének alakulása a különböző talajkezelések hatására 2019-es nyári mintavétel alapján a mikroszkópos számolás alapján – Soroksár. (SZ-hagyományos szántásos művelés, K-kímélő talajművelés, KT-kímélő talajművelés takarónövényvel)

Az eredmények alapján a dehidrogenáz enzimaktivitást (DHA) alkalmasnak találtuk arra, hogy egy korai indikátora legyen a talajban végbemenő pozitív változásoknak, mivel szignifikáns eltérést mutatott ki a talajkezelések között. A talajkímélő művelés takarónövény alkalmazásával kombinálva, már 2 év után kimutatta a változást a dehidrogenáz enzim aktivitásában. Tehát ahhoz, hogy a talajegészségben gyors javulást érjünk el, a két technika együttes alkalmazása megfelelő módszernek bizonyult vizsgálataink és a hivatkozott szakirodalmi eredmények alapján és javasolható az ökológiai gazdálkodás keretei között is.

4.3. A tenyészedényes kísérlet eredményei és értékelése

A tenyészedényes kísérlet során különböző fajú és típusú takaró-növényeket vizsgáltunk külön-külön edényekben kontrollált üvegházi körülmények között. A takarónövények biomassza-produkciója mellett számos talajparamétert is vizsgáltunk.

Megállapítottuk, hogy a különböző növényfajok eltérő hatással vannak a talaj enzimaktivitására. Több növényfajt együttesen tesztelve, azok gyökerének jelenléte fokozta a talaj enzimek aktivitását, azonban egyik eltérés sem volt szignifikáns eltérés a kontrollhoz viszonyítva. Ennek oka lehet néhány kezelés nagy szórása, amelyre az ANOVA igen érzékeny. Ha megfigyeljük a 19. ábrán, akkor láthatjuk, hogy a homoki zab, lóbab, és a keverék jelentősen magasabb értéket vett fel. Az élő gyökerek jelenléte fokozza az enzimaktivitást azáltal is, hogy gyökérváladékokat juttat a talajba, amely szénforrást tartalmaz a mikrobák számára (Kumar et al., 2017). Számos kutatás van arról, hogy a takarónövények beillesztése a vetésforgóba növelte az enzimaktivitást és egyéb, más mikrobiológiai mutatókat is (Daryanto et al. 2018; Kim et al., 2020; Chavarría et al., 2016; Thapa et al., 2021).

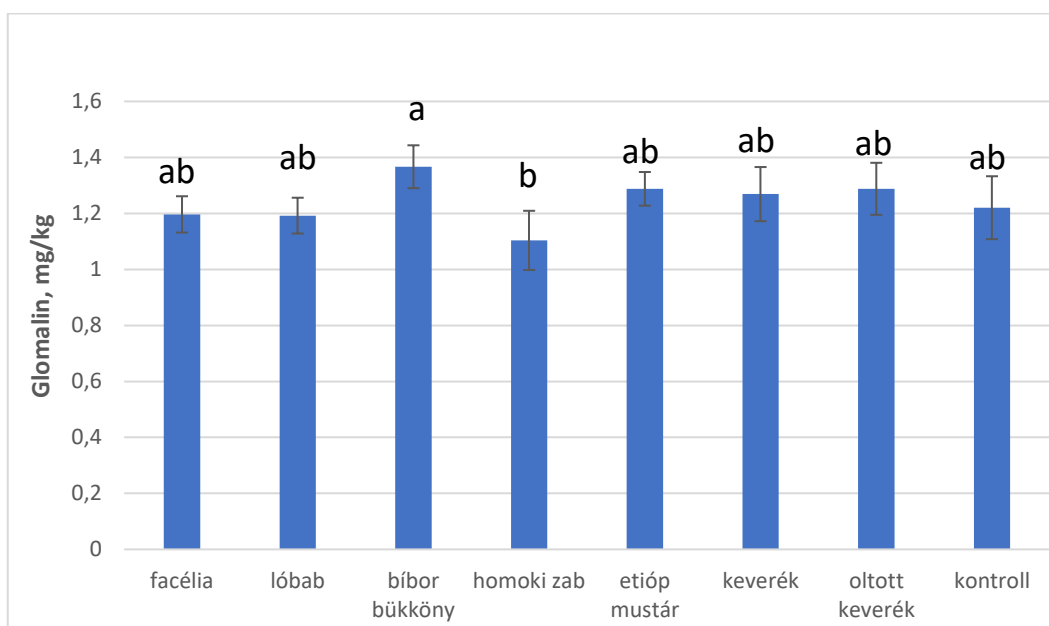


19. ábra: Tenyészedényes kísérlet - enzimaktivitás.

A DHA alapján az első három növényfaj, amely leginkább hatással volt az eredményre az a lóbab, a homoki zab és az összes vizsgált növény keveréke volt. Az FDA szerint a mikorrhiza, AM gombákkal oltott keverék, valamint az oltatlan keverék és a bíbor bükköny adta a legjobb értékeket. A pillangós növények az irodalmak alapján pozitív hatással vannak az enzimaktivitásra összehasonlítva más növényfajokkal (Meena et al., 2018). Ez köszönhető a biológiai nitrogén-kötő képességüknek, amely jobb C:N arányt eredményez a talajban. Egy hasonló tenyész-edényes kísérletben gabonaféléket, pillangósokat, mustárt és az alkalmazott fajok keverékét vizsgálták többféle enzim aktivitására. A pillangós növények vették fel a legmagasabb értékeket és a több fajból álló keverékek voltak általában a második helyen a vizsgált tényezőkre vonatkoztatva (Maltais-Landry, 2015). A mustárfélék ugyanebben a kutatásban általában a legkisebb hatással voltak az enzimaktivitásra, amely összhangban van a saját kutatási eredményinkkel.

A lóbab pozitív hatását szabadföldön is kutatták az enzimaktivitás alakulására. Magasabb dehidrogenáz, proteáz, ureáz aktivitást mértek a lóbab tábla talajában, mint a tavaszi búzáéban (Siczek et al., 2018). Egy másik takakrónövényes kísérletben (Thapa et al., 2021) a zab és a zab keverve más takarónövényekkel 30-40%-kal növelte az összes mikrobiális és gomba közösséget az ugarral összehasonlítva. Az enzimaktivitást, pedig a sok fajból álló takarónövénykeverékek növelték a leginkább. Egy tanulmány 5 takarónövény faj (facélia, zab, búkköny, retek, hajdina) hatását vizsgálta a talajra miután bedolgozásra kerültek és azt találta, hogy az egyes növények nem azonos módon hatnak a foszfor felvételére és ezzel összefüggésben a foszfatáz enzim aktivitására. Az 5-féle növény közül a zab adta a legnagyobb aktivitást, amit a facélia követett (Reynolds et al., 2017).

A talaj legmagasabb glomalin-tartalmát a bíborbúkköny talajában mértük (20. ábra). A glomalin-tartalom, amely a mikorrhiza gombák által kibocsátott fehérje, ezért egyértelműen összefüggésben van a mikorrhiza jelenlét mértékével és az AM gomba működőképességével is. Több kutatás számol be arról is, hogy a takarónövények között a növényfajnak meghatározó szerepe van a következő főnövénynek a mikorrhiza kolonizáltságára (García-González et al., 2023; Bowles et al. 2017) Egy tanulmányban a pillangós növények és a több fajból álló keverékek voltak a legjobb hatással a főnövény mikorrhiza kolonizáltságra (Njeru et al., 2014).



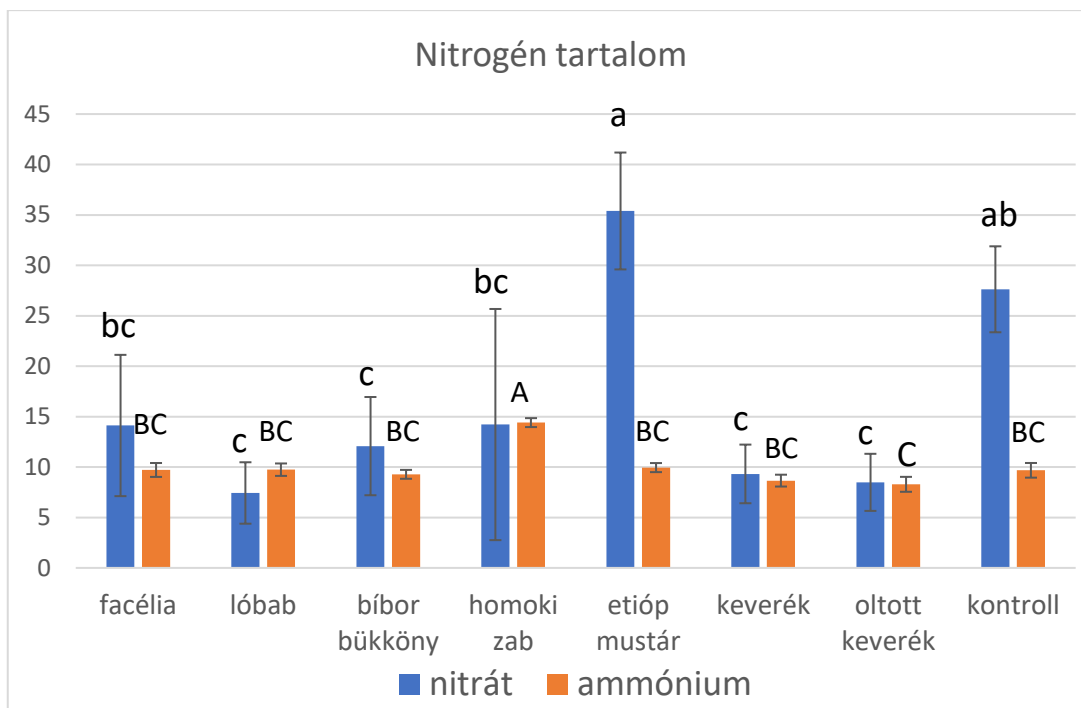
20. ábra: A különböző takarónövény fajok és keverékek hatása a talaj glomalin (GRSP) tartalmára tenyészedényes kísérletben.

A biomassza adatok alapján a lóbab termelte a legnagyobb biomasszát, amely szignifikáns különbség volt a többi növényhez viszonyítva (8. táblázat). A keverék és az oltott keverék követte ezt az értéket, amelyek szintén szignifikánsan eltértek a többi növényfajtól. A gyökértömeg hasonlóan alakult, de az AM gombával oltott keverék gyökértömege a nagy szórás miatt nem tért el egyik vizsgált fajtól sem szignifikánsan. A legkevesebb biomasszát és gyökértömeget az etióp mustár termelte, ami nem mikotróf növény.

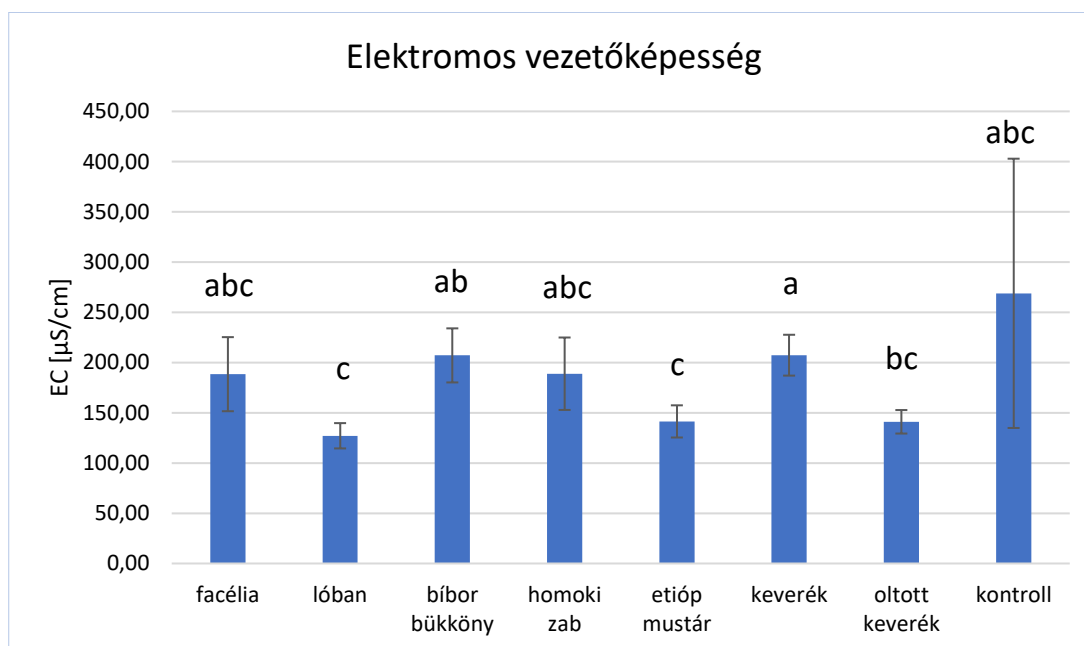
3. táblázat: A különböző takarónövény fajok biomasszája és gyökértömege tenyészedényes kísérletben. A különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az oszlopon belül ($P < 0,05$).

	biomassza		gyökértömeg	
	átlag	$\pm$ SD	átlag	$\pm$ SD
facélia	0,83 cd	0,41	0,15 d	0,05
lóbab	3,88 a	0,40	14,29 a	1,15
etióp mustár	0,45 d	0,14	0,15 d	0,04
bíbor bükköny	1,13 c	0,23	2,01 bc	0,55
homoki zab	0,94 cd	0,08	1,26 c	0,19
keverék	2,09 b	0,09	3,54 b	0,74
oltott keverék	1,98 b	0,17	3,22 bcd	1,12

A biomassza negatív korrelációt mutatott a nitrát, ammónium és az össz tápanyagfelvételt jelző EC-vel (9. táblázat). A lóbab és a keverék a nagyobb biomassza létrehozásához több tápanyagot használt fel (21-22. ábra), így ezek talaja mutatta a legalacsonyabb nitrogént és EC tartalmat. A tápanyag visszatartási potenciál, tehát a felvett tápelemek mennyisége, nagyon fontos tulajdonsága a takarónövényeknek, hiszen minél nagyobb ez a potenciálja a fajoknak annál több tápanyagot tartanak vissza a következő növény számára a talajból, amely ilyen módon nem mosódik ki és könnyebben felvehető formába kerül a főnövény számára. A nitrát-kimosódás egy hatékony formája valósulhat meg a takarónövények által azzal, hogy az beépül a növényi biomasszába (De Notaris et al., 2018). Az etióp mustár volt a legkevésbé hatékony a nitrát visszatartásban (21. ábra).



21. ábra: A különböző takarónövény fajok és keverékek hatása a talaj nitrát és ammónium tartalmára tenyészedényes kísérletben.



22. ábra: A talajok elektromos vezetőképessége különböző takarónövényekkel tenyészedényes kísérletben.

A különböző takarónövény fajoknak más és más előnyük van. A zab és a rozs nagy zöldtömeget ad és ökonomikus (olcsó a vetőmag), a here félék és bükkönyök nitrogént kötnek, a retek félék pedig lazítják a talajt, és jó gyomelnyomó képességük van (Chapagain et al 2020). Ezek a fajok önállóan természetesen nem tudják kifejteni az összes lehetséges előnyt, ezért elterjedőben van a takarónövény keverékek kizárólagos vetése.

Az irodalmi hivatkozások ellentmondásosak arról, hogy a takarónövények keverékei jobbak lennének a talajállapot javítására, mint az egyes takarónövény fajok önmagukban. Számos irodalom írja ugyanakkor, hogy a keverékek jobb hatással vannak a talaj-paraméterekre és a főnövény terméshezamára. Chu et al. (2017) kutatása alapján a keverék, amelyben 4 növény faj volt szignifikánsan magasabb termésátlagot eredményezett a szójában és jobb eredményeket néhány talajparaméterben összehasonlítva más egyfajú takarónövény hatásával. Azonban egy nemrég kiadott meta-analízis (Florence et McGuire, 2020) arról számolt be, hogy a vizsgált 21 tanulmány takarónövény összehasonlításaiban csupán 2%-ban mutatták ki, hogy a több fajt tartalmazó keverék jobb eredményt ért volna el valamilyen szempontból. Körülbelül 80%-ban ugyanúgy teljesítettek, mint az egyfajú takarónövények. Más tanulmány szerint, ezeket az eredményeket nagyban befolyásolják a takarónövények vetési körülményei, továbbá, hogy a takarónövény-fajok megfelelően vannak-e összeválogatva (Wolters, 2020). Blesh et al. (2018) a takarónövény keverékek multifunkcionális ökoszisztéma szolgáltatását hangsúlyozta. Kutatásukban megállapították, hogy a tenyészedényes kísérletben a keverék jó eredményeket mutatott a két (FDA, DHA) enzimaktivitás szerint. A glomalin tartalom szempontjából azonban nem mutattak eltérést.

A növényfajokat külön értékelve az eredmények alapján a következőkre juthatunk. A facélia a kísérlet időtartama alatt, amely 8 hét volt, kis gyökértömeget képezett, a nitrát és ammónia mennyiség alapján elmondható, hogy tápanyagot közepes mértékben vett fel, az enzimaktivitás és a glomalin esetében pedig nem tért el a kontrolltól. Így rövidtávon a talajbiológiára vonatkozó pozitív hatását nem mutatta ki. 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 tápanyag-visszatartási potenciált, amely a leginkább képes a nitrogén kimosódás csökkentésére. A talaj enzimaktivitására a DHA eredményei szerint pozitív hatással volt, amelyet néhány kutatás is alátámaszt (Siczek et al., 2018). A bíborbükköny kevés gyökértömegeg 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 tartalom tekintetében 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 alacsonyabb értékeket kaptunk. A keverékek (sima és oltott) közepes gyökértömegeg és a biomasszával, sok nitrát felvétellel a glomalin-tartalomra nem voltak hatással, azonban az enzimaktivitás mérések szerint pozitív eredményeket értek el a kontrollhoz képest.

4. táblázat: A különböző mérési módszerek korrelációs együtthatói (R) tenyészedényes kísérletben. GRSP = glomalin tartalom, DHA = dehidrogenáz enzimaktivitás, POXC = labilis széntartalom, Nedv = nedvesség tartalom, Hargitai, E4/E6 = humusz minőség vizsgálat, NO₃ -nitrát, NH₄ - ammónium, EC-elektromos vezetőképesség. A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak

	FDA	EEGRSP	NO ₃	NO ₄	biomassza	gyökértömeg	EC
DHA	0,285	-,423*	0,001	-0,023	0,217	0,176	-0,047
FDA	1	0,063	-0,129	0,05	0,083	-0,078	0,314
EEGRSP		1	-0,33	0,297	-0,014	-0,078	-0,056
NO ₃			1	0,12	-,433*	-0,355	0,319
NH ₄				1	-0,244	-0,102	0,14
biomassza					1	,932**	-,410*
gyökértömeg						1	-,492**
EC							1

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.

4.4. Az on-farm kutatás eredményei

Kevés on-farm kísérlet áll rendelkezésre, amely a talajgazdálkodás hatását vizsgálja a talajegészségre. Nagy irodalma van azonban a szabadföldön beállított kísérleteknek. Az on-farm kutatások lehetővé teszik, hogy a talajt valóságos gazdálkodói körülmények között tudjuk vizsgálni, ahol valós a nagyságrend, a talajgazdálkodási gyakorlatok és a korlátok is, amelyekkel a gazdálkodók szembenéznek (Drinkwater, 2002). A beállított parcellás kísérletek, bár csökkentik a zavaró tényezők számát, általában túlságosan leegyszerűsítik a rendszer bonyolultságát. Például, a legtöbb kutatás csupán a no-till és a hagyományos művelést hasonlítja össze, azonban nagy hatással lehet a talajra vetésforgó és az alkalmazott inputok is. Azonban a működő gazdaságok nem követnek ilyen szigorú gazdálkodási kategóriákat, hanem évről évre módosítják a talajművelést a termés és az elővetemény, a talaj- és időjárási viszonyoktól, a származadványok mennyiségétől és a gyomnyomástól függően (Williams et al., 2020).

A gyakorlati gazdálkodásban a gazdálkodási gyakorlatok évről évre a terménytől függően változnak, ellentétben az előre meghatározott tényezőkkel végzett szántóföldi kísérletekkel. Ez egy összetett rendszert hoz létre sok lehetséges visszacsatolási hurokkal. Méréseink a talaj mintavételkori állapotát tükrözik, a talajegészség indikátorainak a vetésforgó során bekövetkező változásairól csak találgatni tudunk (Williams et al., 2020). Az eredményeinket tehát befolyásolhatják az éppen alkalmazott technikák, főleg a gyorsan változó paramétereknél.

4.4.1. A különböző települések tábláin mért talajtulajdonságok eredményei és megvitatásuk

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.

5. táblázat: Az on-farm kísérletben vizsgált táblák talajainak fizikai félesége és a foszfor – kálium ellátottsága a 2021-es tavaszi mintavétel alapján.

		AK	textúra	T%	AL-P2O5, mg/kg		K2O, mg/kg	
Kömlőd	Öko-sekély1	40	vályog	47	387,6983	igen jó	116,32	gyenge
	Konv-szántott	41	vályog	52,2	318,9344	igen jó	93,87	gyenge
	Konv-sekély	29	homok	53,4	304,0406	igen jó	154,43	jó
	Öko-sekély2	29	homok	66,2	163,2365	jó	159,87	jó
Szár	Öko-sekély	26	homok	73,2	97,36904	közepes-jó	229,96	igen jó
	Konv-szántott	26	homok	54,3	293,0883	igen jó	236,77	igen jó
	Öko-szántott	36	vályog	35,7	567,9038	igen jó	370,82	igen jó
	Extenzív	33,3	homokos vályog	61,8	208,3061	igen jó	272,83	igen jó
Füzesgyarmat	Öko— forgnélkül1	43	agyagos vályog	7,9	1556,285	igen jó	424,92	igen jó
	Konv-szántott	41	agyagos vályog	24,2	822,6831	igen jó	347,35	igen jó
	Öko- forgnélkül2	43	agyagos vályog	53,4	304,0406	igen jó	290,53	jó
	Konv- forgnélkül	42	agyagos vályog	34,6	588,4127	igen jó	339,52	igen jó
Bugac	Sekély-legel	32	homokos vályog	67,3	152,4373	jó	1840,64	igen jó
	Sekély1	33	homokos vályog	71,1	116,4436	gyenge	1876,02	igen jó
	Sekély2	25,5	homok	74	90,24614	közepes	1315,1	igen jó
	Sekély-taknöv	28	homok	75,8	74,49719	gyenge	589,94	igen jó

Az adatok standardizálásával összesített korrelációs vizsgálatot végeztünk (11. táblázat), ahol megmutatkozik, hogy ha egyben nézzük a 4 település kísérleti parcelláit, akkor milyen összefüggéseket látunk a különböző paraméterek között. Azonban az M1-es mellékletben megtalálhatók a településeken belül végzett korrelációs vizsgálatok is, amelyek árnyalják a képet az indikátorok eredményeinek alakulásáról a talajtextúra és a gazdálkodási gyakorlatok fényében.

6. táblázat: A talajparaméterek összesítő korrelációs vizsgálata a négy településen mért adatok korrelációs együtthatóival (R). A címsorban használt 1-es szám az őszi mintavételt jelzi. A címsorban használt 2-es szám az őszi mintavételt jelzi. Nemat = Nematóda denzitás, Bakt = baktérium mennyiség, GRSP = glomalin tartalom, DHA = dehidrogenáz enzimaktivitás, POXC = labilis széntartalom, Nedv = nedvesség tartalom, Hargitai, E4/E6 = humusz minőség vizsgálat. A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak.

	H%	Hargitai	E4/E6	pH	Nedv.1	Nedv.2	ASI	POXC1	POXC2	DHA1	DHA2	GRSP1	GRSP2	Nemat1	Nemat2
Hargitai	0,011	1													
E4/E6	-0,149	,456**	1												
pH	-,266*	,579**	,589**	1											
Nedv.1	,392**	0,197	,387**	0,179	1										
Nedv.2	,329*	0,154	,337**	0,174	,736**	1									
ASI	-0,015	0,052	0,091	0,193	-,306*	0,003	1								
POXC1	,274*	-,364**	0,065	-0,061	,399**	,435**	-0,12	1							
POXC2	,310*	0,041	0,15	0,101	,451**	,508**	-0,06	0,155	1						
DHA1	0,225	0,167	,378**	,419**	,509**	,414**	0,14	,388**	,351**	1					
DHA2	0,124	,385**	,389**	,468**	,530**	,540**	0,029	,304*	,281*	,553**	1				
GRSP1	0,241	-0,027	0,034	-,295*	,501**	,462**	-0,24	,396**	0,169	0,096	0,141	1			
GRSP2	,471**	0,006	-0,016	-0,129	,511**	,619**	-,293*	,336*	,423**	0,119	,387**	,471**	1		
Nemat1	-0,168	0,117	,321*	,315*	0,217	0,126	0,148	0,06	0,191	,461**	0,174	0,011	-0,081	1	
Nemat2	-0,149	0,255	0,045	0,218	-0,186	-0,077	,519**	-0,006	-0,197	0,012	-0,011	0,013	-0,141	,478*	1
Bakt.	-0,005	-0,08	0,096	0,084	0,114	,314*	0,213	,458**	0,017	0,175	0,021	0,023	0,18	0,004	,678**

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

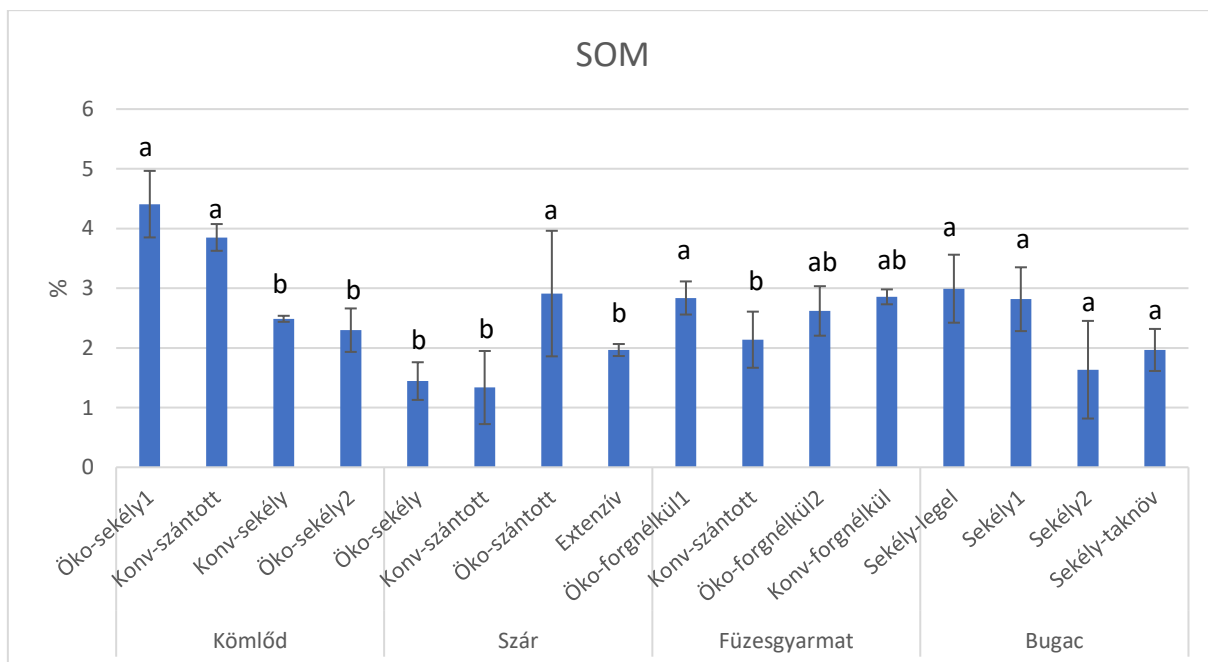
* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.

A talaj szerves anyagának (SOM) vizsgálatánál azt láthatjuk (23. ábra), hogy minden településen belül alacsonyabb értéket vettek fel az alacsonyabb Arany-féle kötöttségi számmal rendelkező talajok (Kömlőd: Konv-sekély, Öko-sekély2, Szár: Öko-sekély, Konv-szántott, Bugac: Sekély2, Sekély-Tak). Ez alapján elmondható, hogy a szervesanyag mennyiséget jobban befolyásolta a talaj fizikai félesége, mint az alkalmazott talajgazdálkodási gyakorlat. A kömlődi tábláknál a talajtextúra meghatározó szerepét jól mutatja, hogy míg a Öko-sekély2 táblán (homok talaj) már öt éve kímélő művelés folyt és két éve pedig ökológiai gazdálkodás kettős termesztéssel, mégis a Konv-szántott, konvencionális hagyományos művelésű tábla (vályog talaj) szignifikánsan magasabb értéket mutatott a szervesanyag tartalomban és más indikátorok alapján is (E4/E6, labilis szén, nedvesség tartalom, DHA, GRSP). A homokos talaj vízmegtartó képessége gyengébb és a szervesanyag tartalma is nehezebben gyarapszik (Stefanovits, 1992). Egy 2020-as on-farm kutatás (Williams et al., 2020) is azt találta, hogy az indikátorok többségét nagymértékben befolyásolta a talaj fizikai félesége. A kutatásban a homokfrakció mennyiségének növekedésével egyre alacsonyabb szervesanyagtartalom volt kimutatható. A gyengébb alaptulajdonságú talajokon, erősen homokos vagy agyagos talajon nehezebb elérni a talaj minőségének javulását. Ennek ellenére ezeken a talajokon annál fontosabb a regeneratív módszerek alkalmazása, hogy ellenállóbbak legyenek a szélsőséges időjárási körülményekkel szemben (Kemenes, 1959). Füzesgyarmat esetében, ahol az összes terület egy talajtípusba esik, azonban egyedül az a terület mutatott szignifikánsan alacsonyabb SOM-ot amelyen mélyszántást alkalmaznak. Ez mutathatja,

hogy a kémelő művelés hatása hosszabb távon (8 év) már megmutatkozhat a SOM alakulásában is.

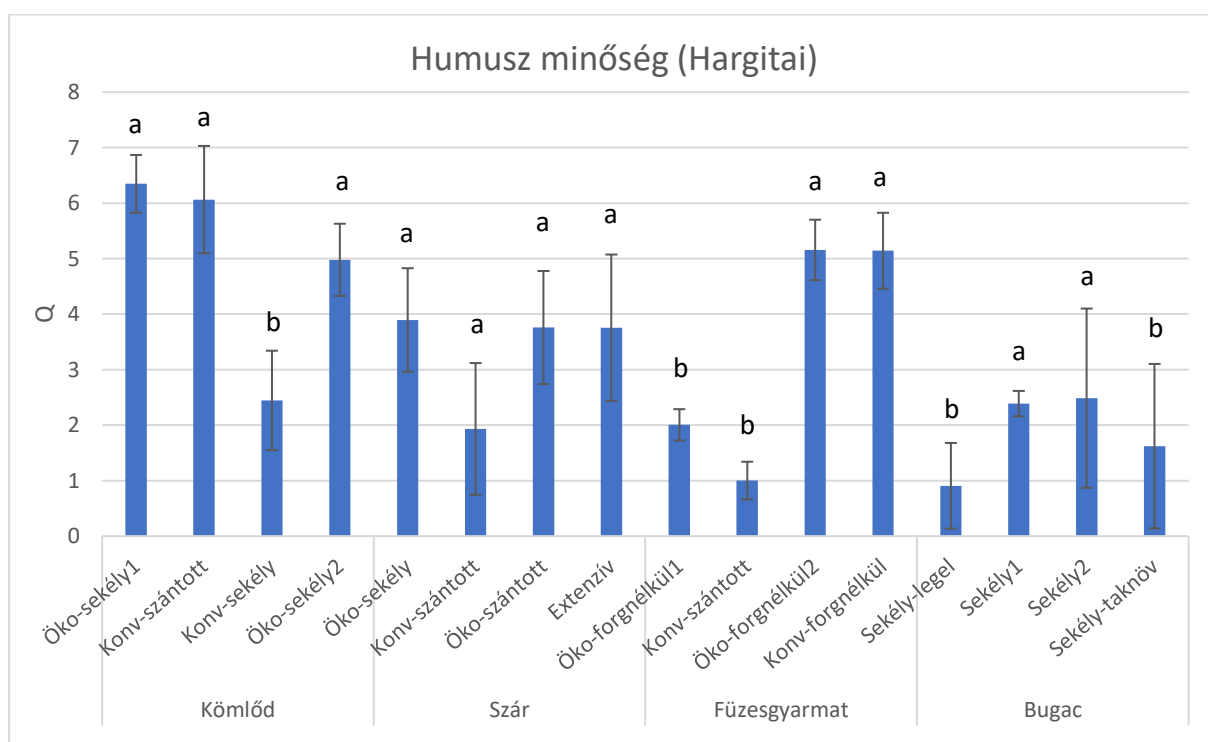
Több paraméter (nedvesség tartalom, POXC, GRSP) pozitívan korrelál a SOM-mal (11. táblázat), amelyekre szintén igaz volt, az az állítás mely szerint a talaj alaptulajdonsága befolyásolta alakulásukat, azonban kevésbé, mint a humusztartalmat. A szervesanyag tartalom és annak minősége összefüggésben van a talaj vízmegtartó képességével (Hudson, 1994), a magasabb nedvességtartalom magasabb biológiai aktivitást eredményez (Vaughan et Malcolm 2012), amely tükröződik az enzimaktivásban és az egyes mikróbacsoportok magasabb abundanciájában, amelyet a nematóda és a glomalin eredmények tükrözhetnek. Ha külön nézzük településenként elvégzett korrelációs vizsgálatokat akkor Kömlőd gazdaságainál sokkal erősebb összefüggések vannak a paraméterek között, így a SOM is a legtöbb paraméterrel erős korrelációt mutat (2-es melléklet). Szár gazdaságainál már kevésbé láthatóak ezek az összefüggések, a bugaci és füzesgyarmati táblákon pedig szinte egyáltalán nem mutatkoztak összefüggések a szervesanyag és a többi paraméter között. Ez jól mutatja, hogy az indikátorok viselkedését sok minden befolyásolhatja és a talaj komplex működési rendszerét nem lehet megfejteni tökéletesen leegyszerűsíteni lineáris vizsgálatok alapján.

Meglepő eredmény, hogy Száron az ökológiailag művelt táblák közül a szántásos tábla volt az amelyik a legmagasabb szervesanyag tartalmat mutatta (23. ábra) és más paraméterek alapján is kiemelkedő értékeket vett fel (labilis szén, nedvességtartalom, DHA, glomalon tartalom). Ez részben azért lehet, mert ennek a táblának a legkedvezőbb a textúrája (vályog), de ezt fokozhatta az is, hogy ez a tábla kapta a legtöbb szerves trágyát az elmúlt öt évben, amely megmutatkozik a foszfor és kálium ellátottságában is (10. táblázat). Ezzel kapcsolatban egy meta-analízis megállapította (Crystal-Ornelas et al., 2021), hogy a szerves trágyázásnak volt a legmeghatározóbb szerepe a talajegészség állapotában a regeneratív módszerek közül.

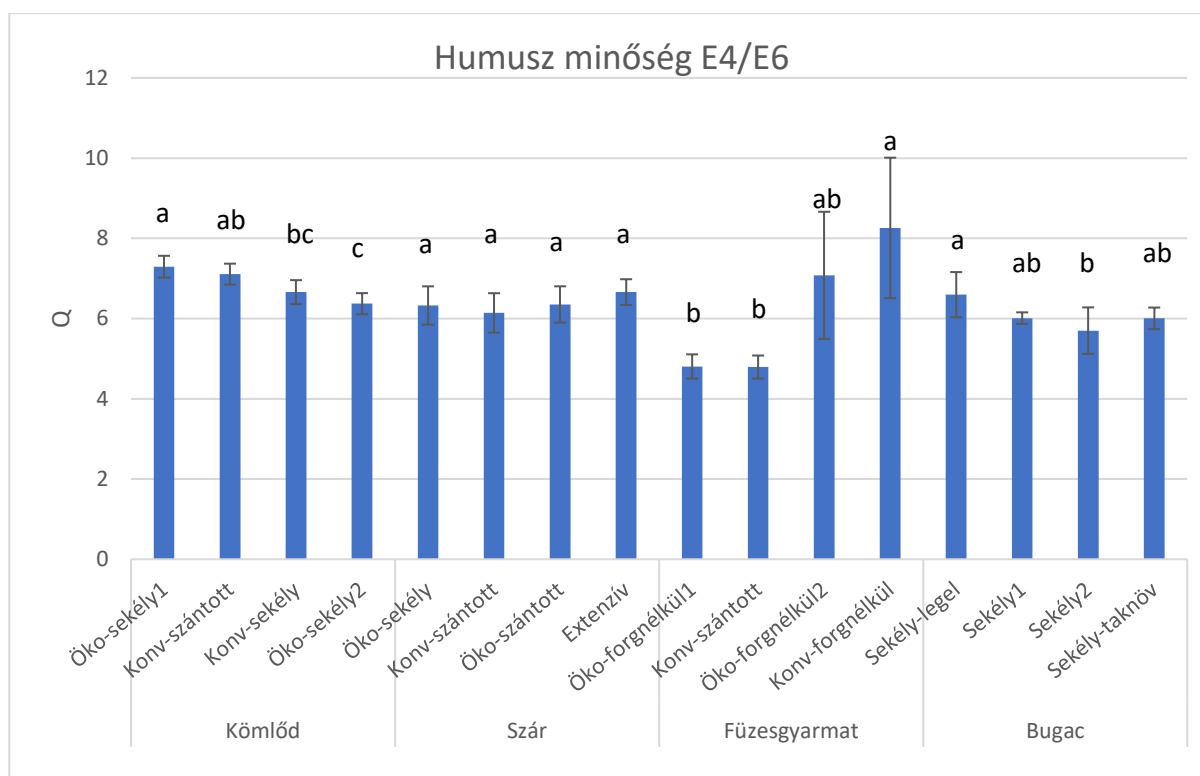


23. ábra: A SOM alakulása a különböző települések tábláin. A különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]

A humusz minőség vizsgálat eredményei az összesített korrelációs vizsgálat alapján azt mutatták, hogy a két paraméter szignifikánsan korrelál egymással (11. táblázat), azonban azt is láthatjuk, ha megnézzük a két diagramot az eredményeikről (24-25. ábra), hogy az E4/E6 a különbségeket kisebb kilengéssel mutatta. Szár és Füzesgyarmat gazdaságainak esetében látható, hogy a konvencionális szántásos terület mutatta a legalacsonyabb értéket a Hargitai-féle módszer szerint, habár ez nem volt szignifikáns eltérés. Kömlőd esetében viszont a Konv-sekély mutatott szignifikánsan alacsonyabb értéket a Hargitai-féle humusz minőség szerint. A diagramok alapján az alacsonyabb humusz minőséghez alacsonyabb pH is társult, amelyet az összesített korrelációs vizsgálat is alátámaszt, mivel mind két humusz minőség vizsgálat szignifikáns korrelációt mutat a pH értékekkel. Érdekes azonban megfigyelni, hogy a humusz minőségi mutatói nem mutattak összefüggést a szervesanyag mennyiségével (23. ábra), és a talajtextúra is kevésbé volt hatással az eredményekre.



24. ábra: A Humusz minőség (Hargitai) alakulása a különböző települések tábláin. Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes településeken belül ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]



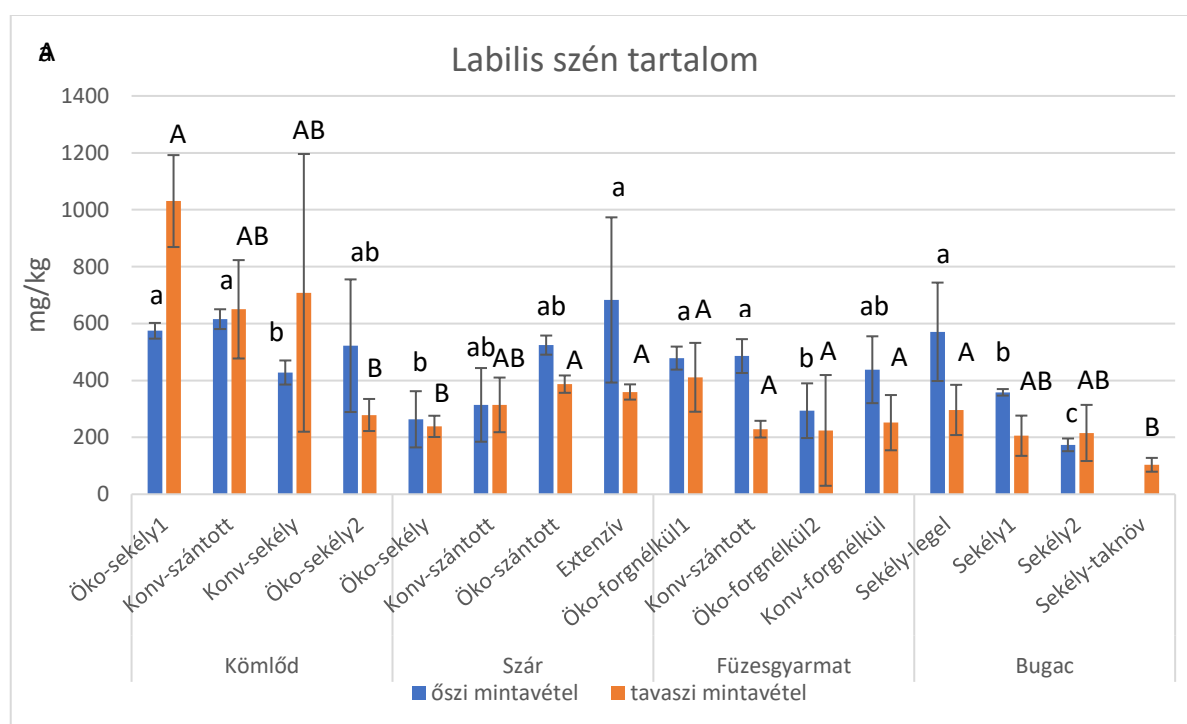
25. ábra: A Humusz minőség (E4/E6) alakulása a különböző települések tábláin. Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes településeken belül ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]

A labilis széntartalom a két mintavétel szerint meglehetősen különböző eredményeket szolgáltatott (26. ábra), amelyet megmutat az is, hogy az összesített korrelációs vizsgálat alapján a labilis szén két mintavétele nem korrelál (11. táblázat). Habár más vizsgálat esetében is megfigyelhető az eltérő eredmény a két mintavétel szerint, ez a tendencia a labilis szén esetében volt a legjelentősebb. Továbbá a kömlődi adatok alapján a labilis szén az első mintavételi időpontban 8 másik paraméterrel szignifikánsan korrelált (11. táblázat) addig az őszi mintavétel értékei szerint egy paraméterrel sem korrelált szignifikánsan (habár voltak pozitív korrelációk).

Ez a tendencia a szári minták esetében is megfigyelhető. Ezt az okozhatta, hogy a labilis szén gyorsan változik a talajban, mértéke sok mindnetől függhet, például a tarlómaradvány mennyiségétől és minőségétől, a tarlókezelés módjától (Haynes, 2005), ezért a mért eredményeket befolyásolhatják a mintavételt megelőző beavatkozások. Ha megfigyeljük a mintavételi időpontokat akkor láthatjuk, hogy az őszi mintavételkor a talajok állapota művelés szempontjából különböző volt (volt, amiben még érintetlen volt a tarló, több helyen pedig már megtörtént a tarlólánhátás). A kömlődi gazdaságoknál a Konv-szántott táblán már megtörtént összesen a tarlólánhátás, míg a többi területen még nem. Ősszel magasabb értéket is mutatott a labilis széntartalom, tavasszal azonban fordított volt az állás. A szári gazdaságoknál az Extenzív táblán már megtörtént a bíborhere tarlólánhátása, és ez magas labilis széntartalmat eredményezhetett. Ezt tovább fokozhatta, hogy a bíborhere magasabb C:N arányt teremt a talajban, amely a biológiai aktivitást is növelhette. A felsoroltak befolyásolhatták az őszi értékeket, ami a tavaszi méréskor már nem mutatkozott, mert ott az összes táblában tartósabb nyugalmi időszak után történt a mintavétel.

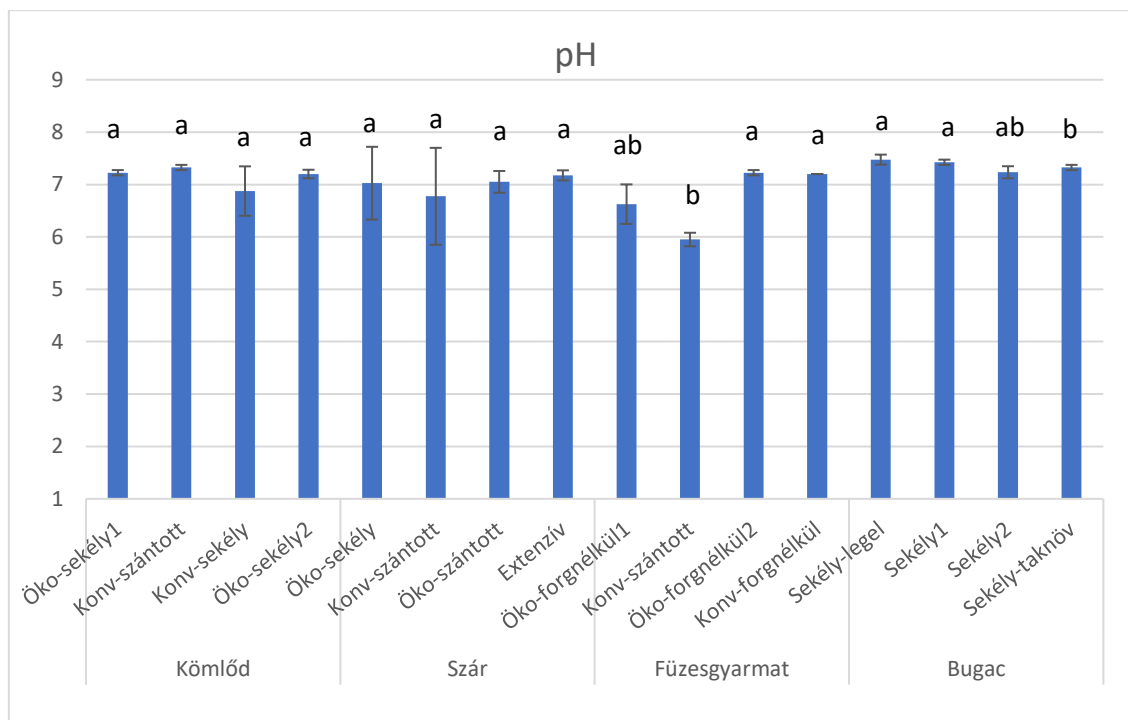
A labilis szén érzékenysége előny, hiszen hamar reagál a talajkezelési gyakorlatokra, amely jó korai indikátorrá teheti, -amit már Weil et al. is megfogalmazott (2003) -, azonban meg is tudja nehezíteni az összehasonlíthatóságot és a talajmonitoringot, ha a mintavétel nem megfelelő időpontban történik.

Az Extenzív terület is magas értékeket produkált más paraméterek szerint is (nematóda mennyiség őszi mintavétele, labilis szén, nedvességtartalom), annak ellenére, hogy az interjúból kiderült, hogy a terület alacsony termésátlagokat hozott, nagy mennyiségű követ tartalmazott (a mintavételezés során is lehetett tapasztalni), emiatt kezelték tulajdonképpen 'extenzíven'. Vetésforgóját tekintve a mintavételt megelőző 3 évben 2-szer is szerepelt bíborhere a termesztett növények között és a gazdálkodási napló alapján kevesebb talajművelés történt rajta, összehasonlítva a többi szári területtel. A DHA (31. ábra) és a nematóda denzitás őszi mintavétele alapján (33. ábra), szignifikánsan magasabb értéket mutatott az Öko-sekély terület értékeinél.



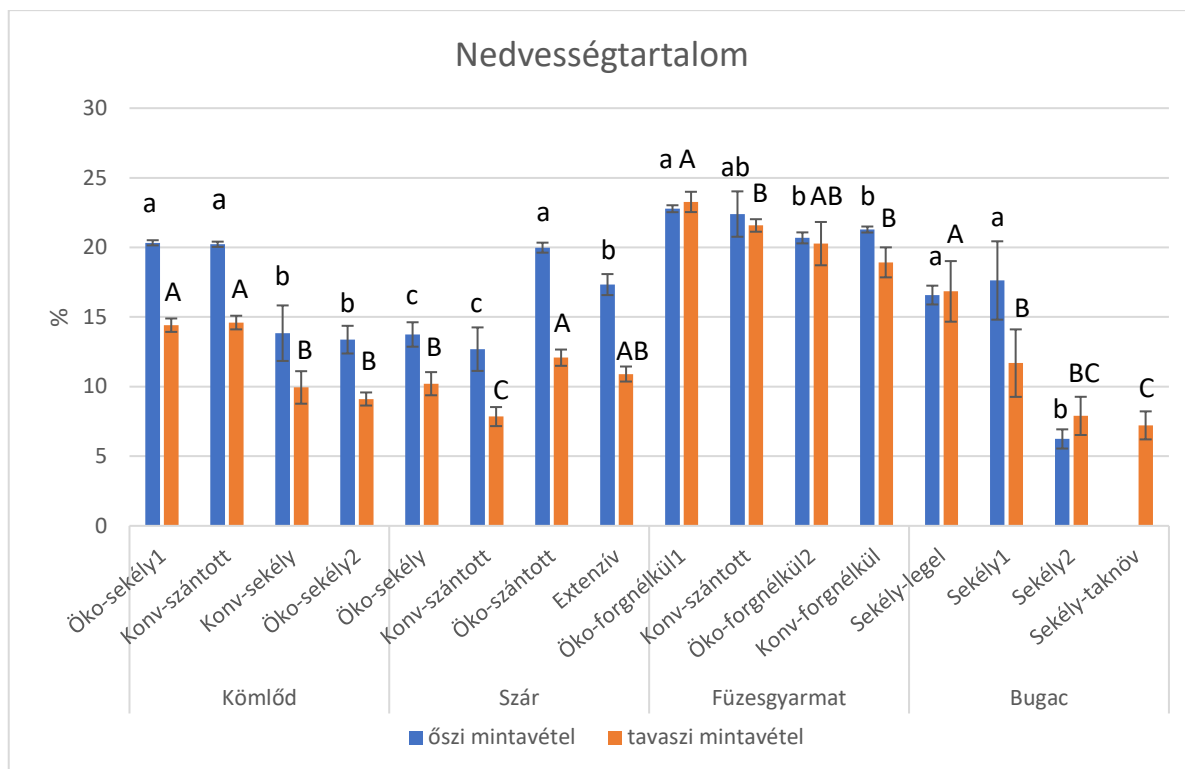
26. ábra: A labilis széntartalom (POXC) alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020 őszi és 2021 tavasz). Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$). Az egymástól különböző nagybetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül a második mintavételi időpontban ($p < 0,05$).

A pH tartalom kevés szignifikáns eltérést mutatott (27. ábra). A különböző talajgazdálkodású, de szomszédos táblák esetében egyedül az ökológiai gazdálkodásra már 20 éve átállt terület talaja mutatott jelentősebb eltérést a pH-ban a szomszédos konvencionális gazdaság talajához képest, tehát az Öko-forgnélkül1 és az Öko-szántott között. Itt az Öko-szántott táblán a nagymértékű műtrágya és a mélyszántás következtében mozdulhatott el a pH savas irányba, továbbá az Konv-szántott táblán a regeneratív gyakorlatok elmozdíthatták a talaj pH-ját a semleges irányba. Több hosszútávú kísérlet is beszámol a pH javulásáról a talajregeneratív módszerek hatására (Fließbach et al. 2007; Kobierski et al., 2020)



27. ábra: A pH alakulása a különböző települések tábláin. Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes településeken belül ($p < 0,05$).
[On-farm kísérlet, 2021]

A nedvesség tartalom két mintavételi időpontban mért adatainak korrelációs együtthatója az összesített vizsgálat szerint (11. táblázat) a paraméterek között a legmagasabb volt ($R=0,736$), amely összefüggést a 28. ábra is jól szemléltet. Ez volt az egyetlen paraméter, amely mind a négy település korrelációs vizsgálata alapján pozitívan korrelált (2-es melléklet). Tehát ez nyújtotta a legkonzekvensebb adatokat. Továbbá a nedvességtartalom volt az a paraméter a DHA és labilis szén mellett, amelyik a legtöbb paraméterrel szignifikáns pozitív összefüggést mutatott (11. táblázat). A 28. ábrán jól látható, hogy a legalacsonyabb értékeket településen belül a homoktalajok vették fel (Kömlőd: Konv-sekély, Öko-sekély2, Szár: Öko-sekély, Konv-szántott, Bugac: Sekély2, Sekély-Tak), tehát az eredmények összhangban vannak azzal az irodalmi ténnyel, hogy a talaj nedvességtartalmát nagymértékben meghatározza a szervesanyagtartalom és a talajtextúra (Hudson, 1994).



28. ábra: A talajnedvesség tartalmának alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020 ősz és 2021 tavasz). Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$). Az egymástól különböző nagybetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül a második mintavételi időpontban ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet]

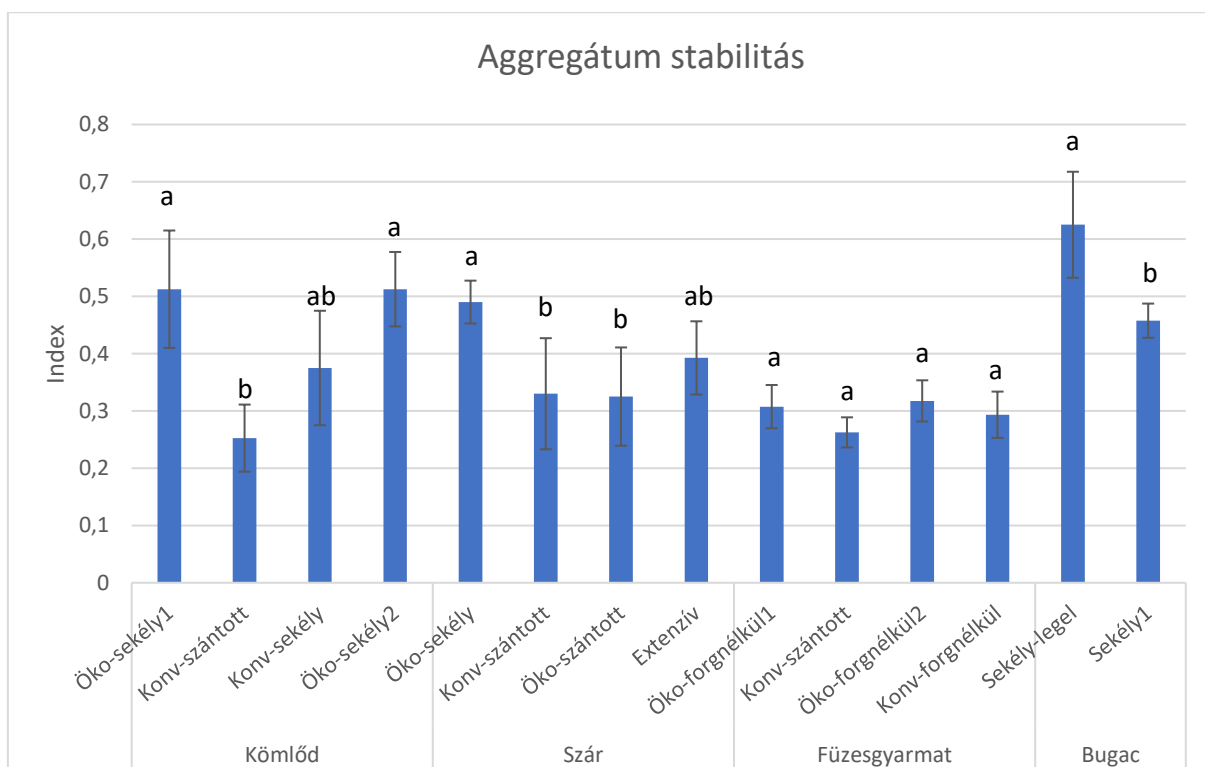
Az aggregátum stabilitás index, a pH és a baktérium szám - egy-két kivételtől eltekintve – gyengén, vagy nem korreláltak ezekkel a paraméterekkel (11. táblázat). Az aggregátum stabilitás esetében meglepő, hogy nem mutatott korrelációt a szervesanyag tartalom semelyik formájával és glomalin tartalommal sem, pedig alakulását erős összefüggésbe hozzák a glomalin tartalommal (Haddad és Sarkar, 2003), amelyet egyik gazdaság eredményeinek korrelációs vizsgálata sem tükröz (2-es melléklet) és az összegző vizsgálat sem (11. táblázat). Az összes gazdaság korrelációs vizsgálatára és az összesítő korrelációs vizsgálatra is igaz volt, hogy az aggregátum stabilitás alig korrelált más paraméterrel. Bugacon, ahol homokos talajok vannak nagyobb összefüggést, tehát erős pozitív korrelációt mutatott a szervesanyag különböző formáival ($H\%$: $R=0,648$, $POXC$ $R=0,493$), amely egy esetben szignifikáns is volt. Az irodalmak és eredményeink alapján elmondható, hogy a szervesanyagnak homokos talajon nagyobb a jelentősége van az aggregátumok képződésében (Dunai és Tóth, 2015). Az is elmondható, hogy az összesítő és a gazdaságokon belül külön vizsgált korreláció alapján is az ASI a nematóda denzitással ($R=0,519$), a baktérium mennyiséggel ($R=0,213$) mutatott egyedül pozitív korrelációt. Amely arra enged következtetni, hogy a legérzékenyebb, leggyorsabban változó biológiai paraméterekkel van nagyobb összefüggésben, amelyet alátámaszt néhány irodalom is (Six et al., 2004; Lehmann et al., 2017).

Ha megnézzük a különböző gazdaságok tábláinak aggregátum stabilitás mérés diagramját (29. ábra), akkor láthatjuk, hogy az aggregátum stabilitás gazdaságon belül mindig a szántott tábla esetében a legalacsonyabb (Kömlőd: Konvenc-szántott, Szár: Konvenc-szántott, Öko-szántott, F: Konvenc-szántott). Feltételezhetjük, hogy míg például a humusz tartalom és minőség, és az ezzel

összeköthető nedvességtartalom, enzimaktivitás és a glomalin tartalom, egy viszonylag stabil mutató, amely egy-egy művelés, vagy a talaj rövidtávú pihentetése után nem változik számottevően (maximum rövidtávú kilengést okoz, mint az enzimaktivitás és labilis szén esetében), addig az aggregátum stabilitást rövidtávon a művelés erősen befolyásolja.

A füzesgyarmati tábláknál érdemes megfigyelni, hogy a 20 éve átállt terület mutatta a legtöbb tartós indikátorban (humusz mennyiség, humusz minőség, pH) a különbséget, és néhány gyorsabban változóban is (DHA, POXC), azonban a három táblapárból ez volt az egyetlen, amely nem mutatott különbséget az aggregátum stabilitásban. Itt elképzelhető, hogy a közelmúltban történt talajbeavatkozás csökkentette a különbséget a két tábla közötti aggregátumok stabilitás tekintetében.

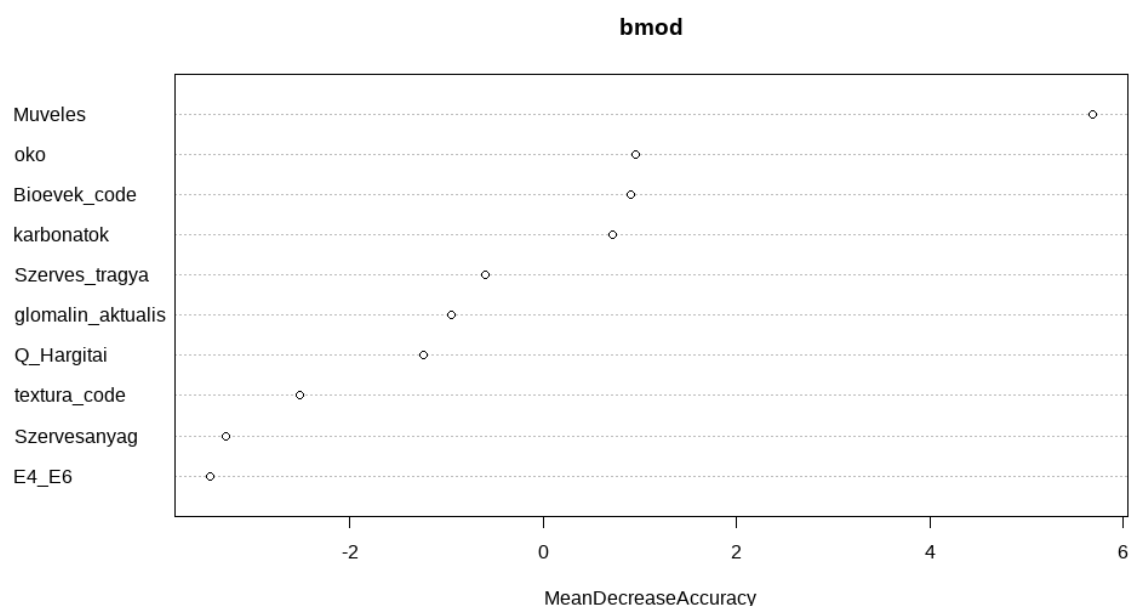
Kemenesy Ernő, amikor a talaj biológiai beéredéséről beszél (1959), úgy fogalmaz, hogy egy tenyészidőszakon belül eldőlhet, hogy a növényünk számára sikerül-e tartós morzsalékos talajt elérnünk. Továbbá egy-egy rossz gyakorlat hatására látszólag tönkretelhetjük a tartós morzsákat. Azt is megfogalmazza, hogy a tartósságnak vannak szintjei, tehát mennél tovább biztosítjuk a beéredéshez szükséges körülményeket, annál tartósabbak lesznek a. Úgy gondolom, hogy a makroaggregátumok stabilitásának van olyan szintje, amely a víznek (csapadéknak) ellenáll, azonban például egy porosító talajművelésnek - főleg, ha az rosszkor van elvégezve -, már nem tud ellenállni.



29. ábra: Az aggregátum stabilitás index (ASI) alakulása a különböző települések tábláin. Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes településeken belül ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]

Azt, hogy az aggregátum stabilitást értékeinek alakulására mi volt leginkább hatással Random-forest vizsgálattal elemeztük. Fő kérdésünk az volt, hogy az agrotechnikai elemeknek, a talajtípusból adódó talajtulajdonságoknak és a menedzsmentből eredő talajbiológiai tényezőknek milyen a hozzájárulása a talajszerkezet kialakulásához.

Az ún. változófontosság (variable importance) alapján az aggregátumstabilitást elsősorban a művelés intenzitása és az ökológiai gazdálkodásra való átállás határozta meg, míg a talajtulajdonságok jelentősége jóval kisebb volt (30. ábra). Ez összhangban van a Williams et al. (2020) meta-analízisével, miszerint az aggregátum stabilitás minősült a az egyik legjobb indikátornak, abból a szempontból, hogy a többi talajegészség indikátorral összehasonlítva kevésbé határozza meg a talajtextúra és jobban megfigyelhető általa a regeneratív módszerek hatása.



30. ábra: Az aggregátum stabilitás Random-forest vizsgálatának eredménye.

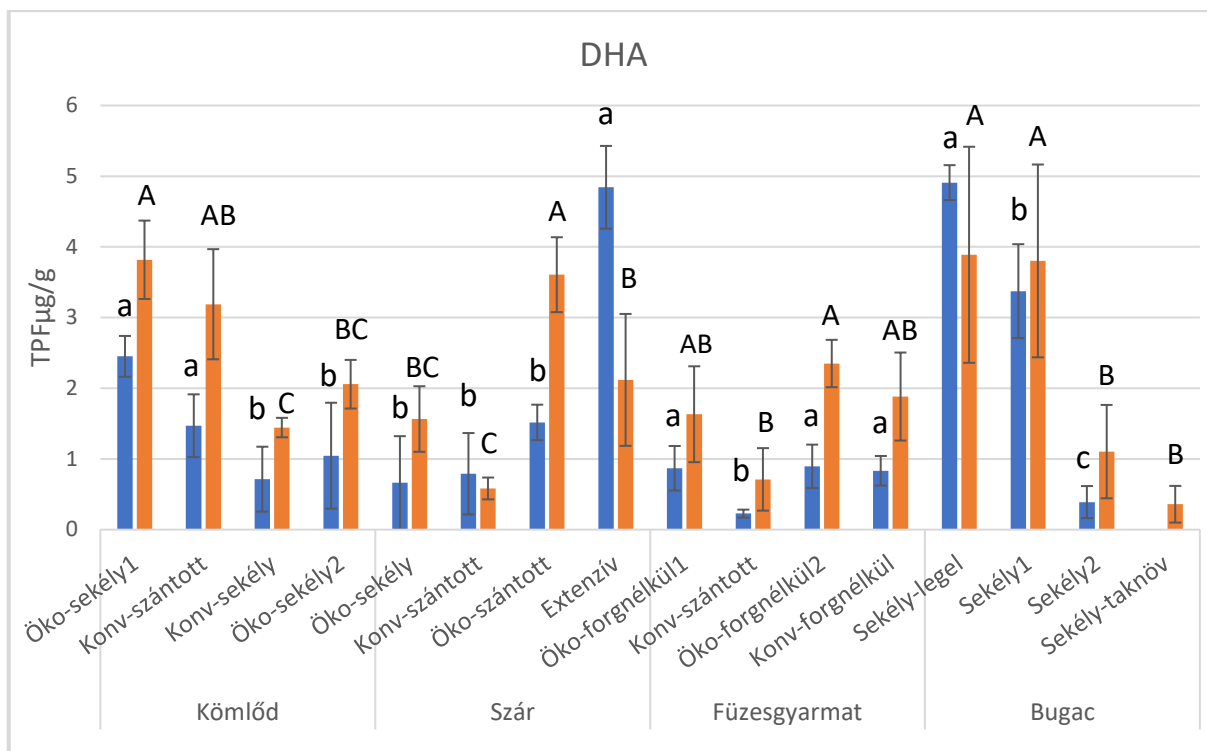
A DHA mérés két mintavételi időpontja három település korrelációs együtthatói alapján szignifikáns pozitív korrelációt mutatott, ($R = 0,537$; $0,566$; $0,810$) egyedül Szár esetében mutatott gyenge pozitív korrelációt ($R = 0,190$). Ezen eredmény alapján a DHA mérést is konzekvens mérési módszernek titulálhatjuk. Azonban elképzelhető, hogy mivel a biológiai aktivitásról beszélünk befolyásolhatják átmenetileg talajművelési gyakorlatok. A szári gazdaságoknál négy táblából három esetén (Konv-szántott, Öko-szántott, Extenzív) a mintavételi időpontot megelőzően már megtörtént a tarlóhántás, őszi alpművelés. Ezek enzimaktivitása tavaszra le is csökkent, amely jelentheti azt, hogy művelésből eredő levegős állapot és a szervesanyag talajba keverése átmenetileg megnövelte az enzimaktivitást. Az enzimaktivizás a szésősegebb agyagosabb és homokosabb textúrájú talajokon alacsonyabb értékeket vett fel (31. ábra), azonban az egymás mellett fekvő táblákon kimutatta a különböző talajgazdálkodás hatását. Kömlődön a Öko-sekélyl és Konv-sekély, Száron és Füzesgyarmaton az Öko-sekély és Konv-szántott tábláknál esetében

magasabb volt a DHA a talajregeneratíván művelt táblákon. Valamint szignifikáns eltérést mutatott Bugacon a Sekély1-es területen, ahol szarvasmarhák legelnek időnként

Az irodalmak alapján azt feltételezhetjük, hogy a labilis szén tartalom az enzimaktivitással szoros összefüggésben van, mivel ez a szén forma a legkönnyebben elérhető a mikroorganizmusok számára, és ezért elsődleges energiaforrásuknak tekinthető (Chantigny, 2003, Haynes, 2005). Ezt csak részben támasztották alá az eredményeink. Habár a labilis széntartalom és az DHA mind a két mintavételi időpontban szignifikánsan pozitívan korreláltak, ezek gyengébb összefüggések voltak (11. táblázat). Látványosabb összefügg például a szári Extenzív táblán volt megfigyelhető, ahol a labilis szén őszi mintavétele és a DHA kimagasló értéket mutatott ezen a táblán, azonban a tavaszi mintavétel idejére mind a két mutató lecsökkent. Ezt a kilengést a területen épp termesztett bíborhere okozhatta, amely a nitrogén kötés által kedvezőbb C:N arányt teremtett a talajban a mikroorganizmusok számára, amely fokozhatta aktivitásukat. Az, hogy a termesztett növény pillangós volt a tarlóbontásra is nagymértékben kihathatott, ugyanis a magasabb nitrogén tartalmú növényt könnyebben lebontják a mikrobák (Kumar et al., 2018).

A kömlődi gazdaság tábláinál továbbá a homoktalajok között (Konvenc-sekély és Öko-sekély2) az Öko-sekély táblát a mintavételt megelőzően 2 évvel állították át ökológiai gazdálkodásra és ez alatt pillangós együtt vetést alkalmaztak, amelynek köszönhetően bolygatatlanul állt a tábla körülbelül másfél évig. Feltételezhetjük, hogy e talajregeneratív gyakorlatok hamar mutathatnak különbséget két különböző talajkezelési rendszer között. Mivel mind a két terület sekély művelésű ezért az ökológiai gazdálkodás körülményei és a kettős termesztés hatása mutatkozhat meg, mint pozitív hatást eredményező tényező, melyet számos irodalom igazol (Layek et al., 2018).

A talaj hosszú pihentetése továbbá élő (pillangós) növények gyökereivel hamar eredményezhet stabil aggregátum képződést. Egyrészt művelés hányában kevésbé aerob körülmények keletkeznek, amelyek kímélik a szervesanyagok gyors lebontását és a tartósabb humusz-frakciók irányába tolják el a szén-körforgást, továbbá a talajbiológia zavartalan működése a giliszták tevékenysége mind a morzslékosság avagy az aggregátumok kialakulását segítik elő (Kemenesy, 1959).



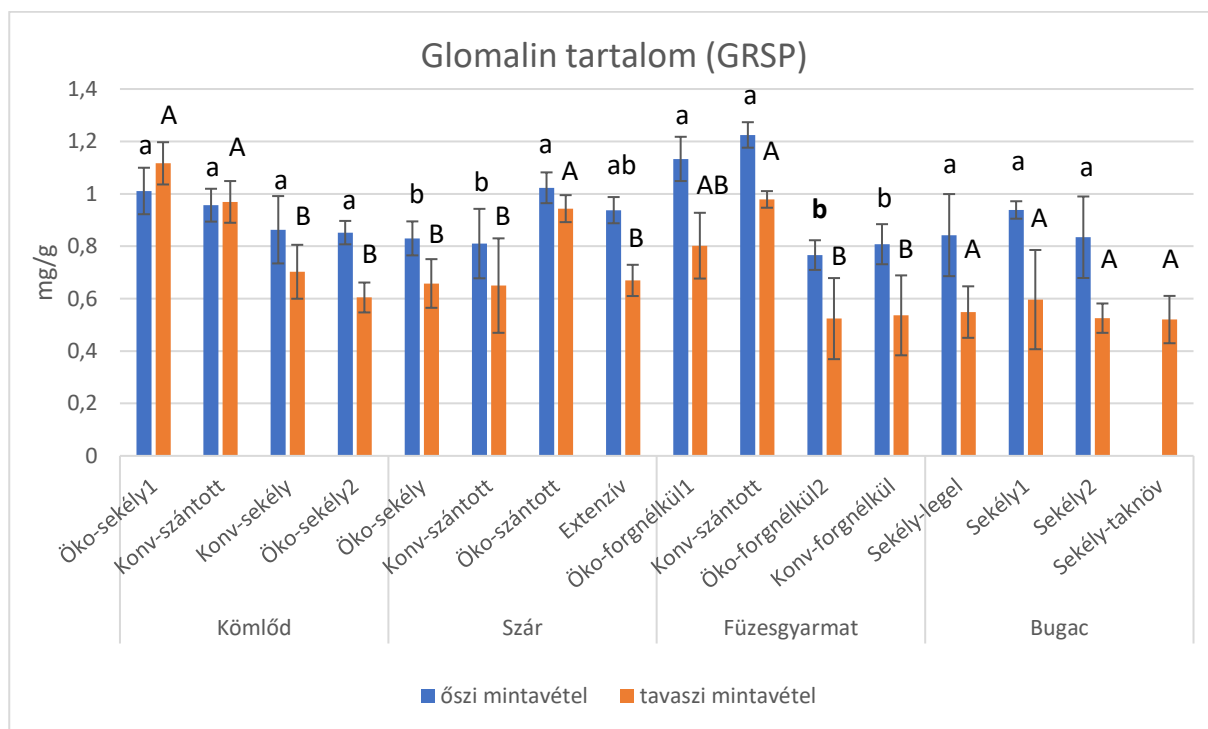
31. ábra: A dehidrogenáz enzimaktivitás alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020 ősz és 2021 tavasz). Az egymástól különböző szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$). Az egymástól különböző nagyságú szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül a második mintavételi időpontban ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]

A glomalin tartalom pozitív összefüggést mutatott a talaj szervesanyag tartalmával (11. táblázat) és a 32. ábrán látható, hogy a fizikai féleség is alakította értékeit. Az összesített korrelációs ábrán látható, hogy a pH-val negatív korrelációt mutat (őszi mintavétel: $R = -0,295$) amely a Füzesgyarmati tábláknál erős szignifikánsan negatív összefüggés ($R = -0,923$; $-0,737$). Továbbá Füzesgyarmaton a humusz minőséggel is erős negatív összefüggés látható ($R = -0,849$; $-0,714$). Száron és Füzesgyarmaton a legmagasabb glomalin érték azon a táblán volt megfigyelhető, amely a legtöbb szerves-trágyát kapta (Szár: Öko-szántott, Füzesgyarmat: Konv-szántott), amely összefüggésben van az irodalmakkal is miszerint a szerves-trágyázás pozitívan hat a glomalin tartalomra (Gosh et al., 2018; Balík et al., 2022; Zhang et al., 2014). Az említett táblák azonban hagyományosan művelt parcellák, amely ellentmond a szakirodalom azon állításának, miszerint a talajbolygatás csökkentése pozitívan hat glomalin tartalomra (Wright et al., 1999; Avio et al., 2013). Feltételezhetően a szerves-trágya jobban befolyásolta a glomalin tartalmat, amelynek lehet oka az is, hogy maga a trágya tartalmazott több glikoproteint.

Ha megnézzük a táblák foszfor ellátottságát (10. táblázat), akkor minden esetben azon a területen mutatkozik magasabb foszfor tartalom, amilyen a glomalin tartalom is magasabb volt. Ez az összefüggés Tang et al. (2009) tanulmányában is megfigyelhető.

A glomalin mérés esetében megállapíthatjuk, hogy a két mintavételi időpont két településen gyengébb korrelációt (Szár $R = 0,384$, Bugac $R = 0,179$) mutatott és két település tábláin erős szignifikáns korrelációt (Kömlőd $R = 0,640$, Füzesgyarmat $R = 0,785$). Hasonlóképpen a labilis szén

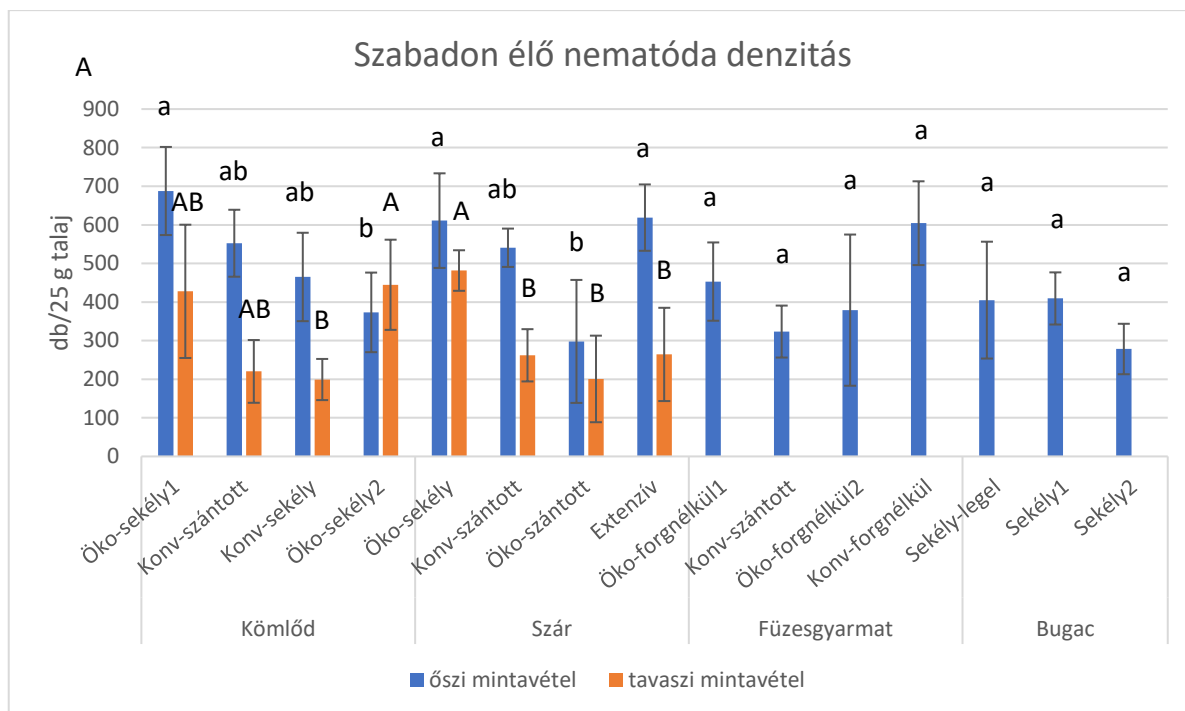
és a DHA-hoz ezek az eredmények azt mutatják, hogy konzekvens indikátorok lehetnek, de a mintavételi időpont befolyásolhatja eredményüket a megelőző talajhasználat miatt.



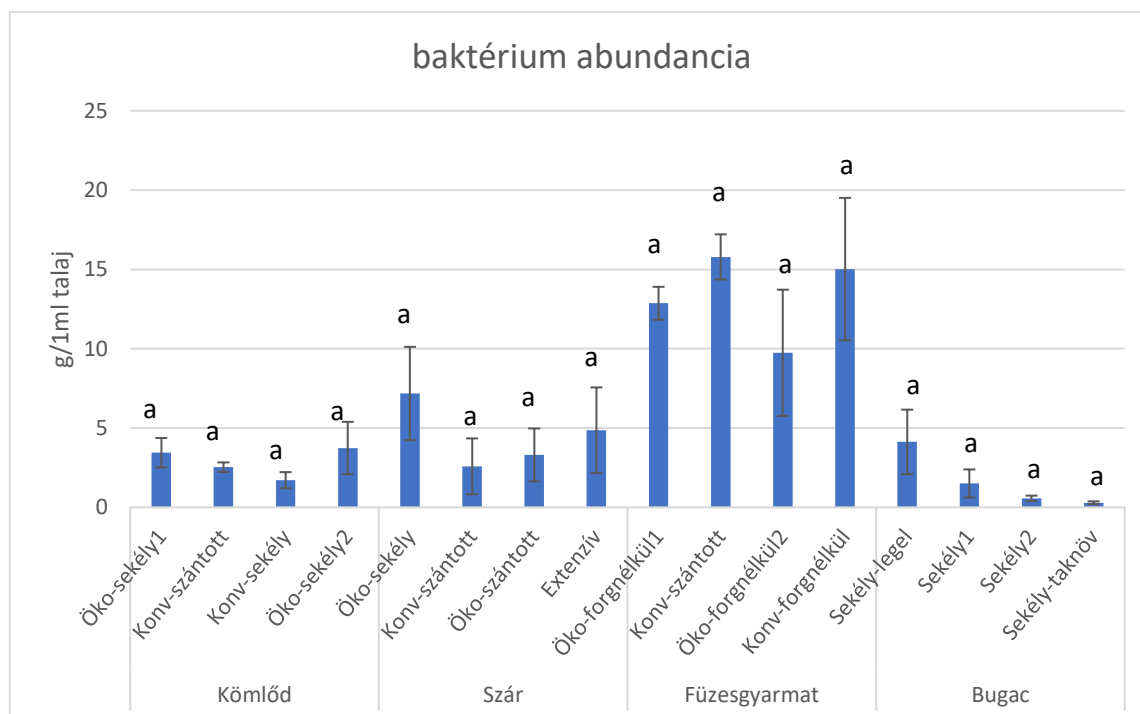
32. ábra: A glomalin tartalom (GRSP) alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020 ősz és 2021 tavasz). Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$). Az egymástól különböző nagybetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes gazdaságokon belül a második mintavételi időpontban ($p < 0,05$).
[On-farm kísérlet, 2021]

Ha a 33. ábrán összehasonlítjuk a táblákat, akkor láthatjuk, hogy a nematóda populáció nagyságát kevésbé befolyásolta a talajtextúra, azonban a művelés nagyobb hatást gyakorolt alakulására. A szári táblák esetében az Öko-szántott mutatta a legalacsonyabb értéket, pedig más mért paraméterek pont ennél vették fel a legmagasabb értékeket. Ugyanígy a kömlődi tábláknál a Konv-szántott a legtöbb paraméterben magasabb értékeket vett fel, mint a Konv-sekély és az Öko-sekély2, azonban a nematóda denzitás tavaszi mintavétele alapján alacsonyabbat. Füzesgyarmatnál is elmondható, hogy a Kon-szántott tábla mutatta a legalacsonyabb nematóda denzitást. A talajművelés eltérően hatott a nematódák számára a különböző kutatásokban, azonban összességében elmondható, hogy inkább csökken a mennyiségük a művelés intenzitásának fokozására (Sheibani és Ahangar, 2013), amely összhangban van eredményeinkkel. Továbbá azt is megállapították, hogy növekedésüket vagy csökkenésüket általában közvetlenül befolyásolja a talajművelés és a takarónövény használata (Fiscus és Neher, 2002; Ferris, 2010).

Habár nematóda denzitást csak két településen (Kömlőd és Szár) néztünk két mintavételi időpontban, ezek alapján és az összesített korrelációs vizsgálat alapján elmondható, hogy a paraméter konzekvens adatokat szolgáltat, hiszen mindenhely pozitívan korrelált a két mintavételi időpont ($R=0,345$; $R=0,605$).



33. ábra: A szabadon él nematóda denzitás alakulása a különböző települések tábláin a két mintavételi időpontban (2020 ősz és 2021 tavasz). A különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az első mintavételi időpontban ($p < 0,05$). A különböző nagybetűk szignifikáns eltérést mutatnak a településeken belül az második mintavételi időpontban ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet]



34. ábra: A baktérium mennyiség alakulása a különböző települések tábláin. Az egymástól különböző kisbetűk szignifikáns eltérést mutatnak az egyes gazdaságokon belül ($p < 0,05$). [On-farm kísérlet, 2021]

A baktériumok mennyisége igen gyorsan változik a talajművelés hatására, azonban számos irodalom számol be arról, hogy a talajkímélő művelés hatására összességében nő a baktérium populáció a talajban (Li et al., 2020; Mathew et al., 2012; Janušauskaite et al., 2013). Továbbá az ökológiai gazdálkodás esetén is magasabb baktérium és nematoda mennyiséget mutattak ki (Wu, Ingham, and Hu 2002). A mikroszkópos baktérium számolás eredménye nem mutatta ezeket a trendeket (34. ábra), és habár mutatott különbségeket a táblák között a településeken belül, egyik eltérés sem volt szignifikáns. A korreláció eredmények szerint pozitív korrelációt mutatott a nedvesség tartalommal és a tavasszal mért labilis szénnel, továbbá erősebb korrelációt mutatott a nematoda denzitással és gyengébb korrelációt az aggregátum stabilitással. Érdekes mód az enzimaktivitással nem mutatott összefüggést.

A Füzesgyarmati és Bugaci korrelációs elemzések (2. melléklet) számos ponton eltérnek a Kömlődi és a Szári eredményektől. Nagy mennyiségű negatív korrelációs együttható (pl. A H% és H minőség között $R = -0,688$, $-0,767$, vagy a H% és DHA között $R = -0,617$) látható ott, ahol a másik két településen esetleg szignifikánsan pozitív volt. Ahogy korábban említésre került már, erre hatással lehet a szélsőségesebb talajtesztúra önmagában. Azonban érdekes megfigyelni, hogy mind a két településen a humusz tartalom negatívan korrelál a humusz minőséggel (az E4/E6 alapján $R = -0,767$, $-0,396$). Ha összevetjük a különböző táblák humusztartalmát és humusz minőségét (23-24-25. ábra), akkor azt láthatjuk, hogy nagyobb vagy ugyanolyan humusz mennyiséghez sokkal alacsonyabb humusz minőség tartozik településen belül. Feltételezhetjük, hogy a több negatív korreláció ennek a 'rosszabb' minőségű humusznak köszönhető. A nagyobb mennyiségű, de gyengébb minőségű humusz már nem biztosítja azokat a körülményeket, amelyek a többi paraméterre is befolyással vannak. Ezeknek a paramétereknek az alakulását sok más tényező befolyásolhatja.

Füzesgyarmaton a Öko-Forgó nélkül2 és a Konv-forgó nélkül táblák összehasonlításában azt láthatjuk, hogy a 20 éve ökológiai terület nem mutat szignifikáns eltérést egy paraméter szerint sem a konvencionális művelésű területtől. Ezt okozhatta az, hogy a forgatás nélküli művelés itt meghatározóbb volt a talaj állapotában, mint az ökológiai gazdálkodás.

Bugac esetén nem állt rendelkezésünkre olyan szomszédos tábla, ahol konvencionális gazdálkodás folyt volna, vagy szántásos művelés. Azonban itt az ökológiai gazdálkodáson belül össze tudunk hasonlítani két talajregeneratív módszert, nevezetesen a takarónövények hatását és az állatok bevonását a növénytermesztési rendszerbe. Ez utóbbi jelen esetben azt jelentette, hogy a szántóföldi területre, ahol a takarmányt termesztették, időnként ráengedték a szarvasmarhákat (magyar szürke), akik így nem a lekaszált takarmányhoz jutottak, hanem közvetlenül lelegelhették azt.

A bugaci Sekély1 és Sekély-legel, mivel talajadottságaiban jobb (homokos vályog ..ábra) mint a Sekély2 és a Sekély-tak, így a legtöbb talajparaméterben jobb eredményt mutatott (humusz mennyiség, nedvesség tartalom, enzimaktivitás, baktérium tartalom). Az aggregátum stabilitást illetően, a homokos táblák olyan kis mértékben rendelkeztek aggregátumokkal, hogy nem sikerült megfelelő ismétlést képezni a statisztikai elemzéshez. Ehhez képest érdekes módon a 4 település közül Bugacon voltak megtalálhatóak a legstabilabb aggregátumok a Sekély-legel táblában. Az gazdálkodási napló kivonata alapján (M2) láthatjuk azonban, hogy a bugaci gazdálkodó alkalmazta a legjobb regeneratív módszert (rendkívül gazdag vetésforgó, kettős termesztés, takarónövények, a legsekélyebb művelés). A glomalin kapcsán nem volt számottevő különbség a

négy bugaci tábla között, amely érdekes eredmény annak tükrében, hogy a nedvességtartalom a humusztartalom is magasabb volt ezeken a táblákon. A labilis szén esetén habár a Sekély-legel tábla kimagaslott a Sekély1 és Sekély2 között nem volt különbség, amely meglepő, ha a két terület között nézzük a különbséget a paraméterek és a textúra alapján, habár a vetésforgóban épp termesztett növény befolyásolhatta ezt az eredményt.

Ha a két egymás melletti táblákat hasonlítjuk össze, akkor azt kapjuk, hogy a Sekély-legel és a Sekély1 táblák között számos talajparaméterben volt különbség a Sekély-legel tábla javára. Szignifikánsan magasabb értéket mértünk a labilis széntartalomban és a DHA-ban az őszi mintavétele alapján, a nedvességtartalomban a tavaszi mintavétele alapján és az aggregátum stabilitásban. Magasabb, de nem szignifikáns eredményt a humusz mennyiségben, a humusz minőségben (E4/E6), a pH-ban, a labilis szénben az őszi mintavétel alapján, a glomalin tartalomban és a baktérium mennyiségben az őszi mintavétel alapján. Azonban a Sekély-legel szignifikánsan alacsonyabb értéket vett fel a Hargitai-féle humusz minőség vizsgálat eredményében. A glomalin tartalomban szintén alacsonyabb értéket vett fel, azonban ez nem volt szignifikáns különbség. Ez alapján elmondhatjuk, hogy az állatok hatása a talajra igen jelentős volt. Az irodalmak alapján nem egyértelmű, hogy a szántóföldi területek talajára milyen hatással van, ha állatok legelnek rajta (Taboada et al., 2011). A taposási kárból eredő talajtömörödés figyelhető meg általánosan (Houlbrooke et al., 2009; Rakkar et Blanco-Canqui, 2018). A talómaradványok legeltetése a talajtömörödésten túl pozitív hatással volt a legtöbb mikroba csoport biomasszájára (Rakkar et Blanco-Canqui, 2018). A Sekély-legel táblán nem intenzív a legeltetés mértéke (2.melléklet gazdálkodási napló), talán ezért nem mutatkozik talajromboló hatás, azonban az esetleges trágyatöbblet hatásának előnyei mutatkozhattak meg a mért paraméterekben.

A Sekély2 és Sekély.tak területek összehasonlításában azt láthatjuk, hogy habár a Sekély.tak táblán alkalmaztak takarónövényeket, ennek hatása a mért paraméterekben nem jelentkezett, sőt több mérés szerint a Sekély2 tábla vett fel magasabb értéket (DHA, baktérium, nematóda, labilis szén), habár ez nem volt szignifikáns különbség egy esetben sem. Néhány irodalom a takarónövények pozitív hatását hosszútávon sem mutatja ki (Camarotto et al. 2020) a szénkészletekre, más kutatás szerint nagyjából 5 év után mutatható ki pozitív hatás (Crystal-Ornelas et al., 2021).

4.4.2. A regeneratív talajgazdálkodás hatása

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. Mivel az ökológiai táblán a gazdálkodás hasonlóképp történt az átállás előtt, ezért arra is lehetőséget nyújt a kontroll tábla, hogy megfigyeljük, hogy az átállás óta hogyan változott a talaj a regeneratív módszerek hatására. Más kutatások is használják a szomszédos konvencionális táblát ilyen módon kontrollként (Kobierski et al., 2020; Belopukhov et al., 2023). A könnyebbség kedvéért a két gazdálkodási rendszert KONV (konvencionális gazdálkodás,

hagyományos, szántásos műveléssel) és ÖKO (ökológiaigazdálkodás talajreneratív módszerekkel) névvel fogom nevezni ebben a fejezetben.

Az összesítő táblázaton megfigyelhetjük, hogy mind a három településen mértünk szignifikánsan magasabb értéket az ÖKO táblákon négy különböző indikátor szerint is (12. táblázat). Ezek az indikátorok eltértek településenként. Azonban elmondható, hogy a Hargitai féle humusz minőség, 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. Azonban meg kell említeni, hogy a legtöbb paraméter, ha nem is szignifikánsan, de magasabb értékeket vett fel az ÖKO táblákon, amely halvány pirossal van jelölve a 12. táblázatban.

7. táblázat: Az ÖKO és KONV táblák talajainak eredményei a feltüntetett paraméterek alapján. A sötét piros háttérű adatok szignifikáns eltérést mutatnak. A halvány piros háttérű adatok esetében magasabb átlag érték mutatkozott az ÖKO táblán. KONV - konvencionális gazdálkodás, hagyományos, szántásos műveléssel, ÖKO -ökológiaigazdálkodás talajreneratív módszerekkel. A paraméterek címében az 1=első mintavételi időpont, 2=második mintavételi időpont.

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				

Öt év sekély művelés, átállás ökológiai gazdálkodásra és kettős termesztés alkalmazása, már rövidtávon kimutatott változást az érzékenyebb indikátorokban. Szépen kirajzolódik, hogy az irodalmak alapján érzékenyebbnek tartott indikátorok jeleztek szignifikáns különbségeket (Stott, 2019; Alkorta et al., 2003; Weil et al., 2003). A szakirodalom sok esetben kimutatta a talajregeneráló technikák pozitív hatásait, de legtöbb esetben ezek hosszú-távú kísérletek voltak (Kobierski et al., 2020; Littrell et al., 2021; Cooper et al., 2016; Krauss et al., 2022). Csak néhány rövidtávú kísérlet van, amely már néhány év után is ki tudott mutatni különbséget bizonyos paraméterekben (Kwiatkowski et al., 2020; Puerta et al., 2018; Pittarello et al., 2021). Kwiatkowski et al (2020) szignifikáns különbséget mért a DHA-ban 3 év után zöldtrágyát alkalmazó ökológiai gazdálkodást és konvencionális gazdálkodást összehasonlítva. Emmerling et al. 2007-ben 4 évvel a kímélő művelésre váltás után, ökológiai gazdálkodásban szignifikánsan magasabb szervesanyag tartalmat, mikrobiális biomasszát és biológiai aktivitást mért. Puerta et al (2018) kutatásában a váltás ökológiai gazdálkodásra kímélő műveléssel négy év után javította a talaj szerkezetét, növelve a makroaggregátumok számát és az aggregátumok átlagos súlyozott átmérőjét (MWD) a felső 6 cm-ben. Pittarello et al 2021 -es publikációjában 2 év után csak az enzimaktivitás vizsgálatok (köztük a DHA is) tudták kimutatni a kezelés hatását azon a táblán, ahol az ökológiai gazdálkodás körülményei között minimum művelést alkalmaztak és takarónvényeket és pillangósokat illesztettek a vetésforgóba. A szerves anyaga tartalom (SOM) és aggregátum stabilitásban (wet aggregate stability) nem mértek változást.

Számos tanulmány arról számolt be, hogy a SOM viszonylag lassan változik, gyakran 3-10 évbe telik, mielőtt jelentős különbségek kimutathatók (West és Post, 2002; Cardoso et al., 2013; Stott, 2019). Ezek alapján az 1. és a 2. helyszín esetében valószínűleg nem volt elég idő a szignifikáns különbséghez. Puerta et al. (2018) rövid távú kísérletében a csökkentett talajműveléssel kombinált ökológiai gazdálkodást hasonlították össze a hagyományos gazdálkodással, ahol 4 év vetésforgó után a SOM nem változott jelentősen. Kwiatkowski et al. (2020) rövid távú kísérlete azonban arról számolt be, hogy a biogazdálkodásra való átállás után 3 évvel a SOM átlagosan 35%-kal nőtt. A 3. helyszín esetében az ÖKO táblát 20 évvel ezelőtt állították át az ökológiai termelési rendszerre, és szintén nem mutatott szignifikáns eltérést a KONV-hez képest. Ennek oka az lehet, hogy a KONV parcella is rendszeresen kapott istállótrágyát. Mivel az istállótrágya növelheti a SOM-t (Liebig és Doran, 1999; Mäder et al., 2002; Aulakh et al., 2022), ez csökkenthette a különbséget az ÖKO és a KONV közötti különbséget a SOM tekintetében.

Az E4/E6 arányt fontos mérőszámának tekintik a huminsav jellemzéséhez (Datta et al. 2022), és ezt a paramétert érzékenynek tartják a gazdálkodási gyakorlatok hatására (Galantini et al. 2014). Az alacsonyabb E4/E6 arány nagyobb stabilitást mutatott a humusz frakciókban a talajregeneratív módszerek hatására Datta et al. (2022), Das et al. (2023) és Juhos et al. (2024) hosszú távú kísérletében. A mi kísérletünkben az 1. és 2. helyszínen 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 3. telephely esetében szignifikánsan magasabb értéket találtunk az ÖKO 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. Alacsonyabb pH-nál kevésbé stabil humuszanyagok képződnek, magasabb pH-nál pedig több kondenzált és aromás humuszanyag

jellemző (Kiss et al., 2014). 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 hirdolizáló műtrágyákat (Kwiatkowski et al., 2020).

A talaj labilis széntartalma a szervesanyag egy olyan része, amely a gazdálkodási gyakorlatokra hamarabb reagál, mint a SOM (Weil et al. 2003; Bongiorno et al., 2019a; Xu et al., 2011). A labilis szám 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 növelték a SOM aktív szénfrakcióját (Juhos et al., 2023; Bongiorno et al. 2019a). Eredményeink arra utalnak, hogy a labilis szént-t a mintavétel időpontja is befolyásolhatja. Az őszi mintavételi időpontnál a KONV táblán már megtörtént a tarlóhántás és az alapművelés (tszántás) 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 szén tekintetében. Az irodalmak alapján a labilis szén könnyen változik az agrotechnikai beavatkozások hatására (Haynes, 2005). A tavaszi mintavételt megelőzően azonban a táblák hosszabb ideje nyugalmi állapotban voltak, így 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 (Sarker et al. 2023).

A két mintavételi időpontban mért adatok legfőképp tavasszal mutattak szignifikáns eltérést (kivéve DHA) oda vezethető vissza, hogy az őszi mintavétel időpontjában az ÖKO és KONV terület különböző állapotban volt talajművelés szempontjából mind a három helyszín esetében (12. táblázat). A KONV táblákon már megtörtént a tarlóhántás és az alapművelés (tarlóhántás, szántás) az ÖKO táblákon pedig még nem. A talaj levegőztetése és a szervesanyag beforgatása átmenetileg megnövelhette az érzékenyen reagáló biológiai paraméterek értékét a KONV táblákban, így nem mutatott szignifikáns eltérést a különböző talajgazdálkodás. Ez az összefüggés a labilis szén esetében volt a leglátványosabb, ugyanis ősszel nem mutatott szignifikáns eltérést egy táblapárosnál sem.

Az aggregátum stabilitása szignifikánsan magasabb volt a Kömlődön és Száron az ÖKO táblán (12. táblázat). 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 alkalmazásával is szignifikánsan kimutatható (Moebius-Clune et al. 2016; Flynn et al., 2020; Jones et al., 2020; Peluchon et al., 2021; Rieke et al., 2022). Mivel ezek a talajregeneráló gyakorlatok pozitívan befolyásolják a talaj biológiai aktivitását, hozzájárulnak az aggregátumképződéshez (Six et al., 2004; Allen et al., 2011; Cardoso et al., 2013; Lehmann et al., 2017; Stott, 2019). 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 pozitív hatással lehetett az aggregátumstabilitásra

(Rayne és Aula 2020, Littrell et al., 2021). Így ez nem okozott szignifikáns különbséget az aggregátum stabilitásában.

A kömlődi és a füzesgyarmati tábláknál az őszi mintavételkor, a szári tábláknál pedig a tavaszi mintavételkor szignifikánsan magasabb DHA-t mértünk az ÖKO parcellákon (12. táblázat). Számos tanulmány alátámasztja, hogy a konzerváló talajművelési gyakorlatok növelik a mikrobiológiai aktivitást (Kobierski et al., 2020; Williams et al. 2020; Cárceles Rodríguez et al., 2022; Montgomery és Biklé, 2021), és a mikrobiológiai aktivitás jó mutatója lehet a talaj javulásának a gazdálkodási gyakorlatokra adott válaszként, amely sokkal hamarabb változhat, mint a talajok egyéb tulajdonságai (Nunes et al., 2020; Stott, 2019; Cardoso et al., 2013). Eredményeink összhangban vannak Kwiatkowski et al. (2020) szántóföldi kísérletével, ahol 3 év szerves trágyázás után szignifikánsan magasabb DHA-t találtak a hagyományos kontrollparcellához képest. A DHA-t azonban 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 (Bongiorno et al. 2019a). Emellett az elhunyt mikrobiális biomassza később növelheti a labilis szénkészletet. Eredményeink alátámasztják ezt a megközelítést, mert ahol ősszel szignifikánsan magasabb enzimaktivitást találtunk (Kömlőd, Füzesgyarma), ott tavasszal szignifikánsan magasabb labilis szén tartalom volt. A labilis szén azonban nagymértékben befolyásolja a növényi maradványok mennyisége és minősége, ezért a biológiai aktivitás és a labilis szén dinamikájának megfigyeléséhez több éves mintavételezés ajánlott.

Az glomalin tartalom 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 (12. táblázat). A szakirodalom arról számol be, hogy a kímélő talajművelés, a biogazdálkodás és a takarónövények alkalmazása növeli a glomalin tartalmat a talajban (Wright et al., 1999; Gałazka et al., 2017; Lee és Eom, 2009; Bortolini et al., 2021). Az a tendencia, hogy a regeneratív talajművelés pozitívan befolyásolja a glomalin tartalmat, Kömlőd esetében is megfigyelhető, ami összhangban van Kobierski et al. (2020) tanulmányával is. Füzesgyarmaton a nagymennyiségű szervstrágya alkalmazása a KONV parcellán magasabb glomalin-tartalmat eredményezhetett, hasonlóan Gosh et al. (2018) eredményeihez.

Eredményeink azt mutatták, hogy az ÖKO táblákon magasabb volt a fonálférgek összmennyisége, mint a KONV táblákon, de ezek a különbségek csak a kömlődi és füzesgyarmati táblák esetében voltak szignifikánsak a tavaszi mintavételi időpontban (12. táblázat). A nematóda populáció elemzése a talaj egészségének indikátora lehet, mivel egyes tanulmányok szerint gyorsan reagál a talajgazdálkodási rendszer változására (Fiscus és Neher, 2002; Ferris, 2010; Berkelmans et al., 2003; Ito et al., 2015). A nematóda populációk összetétele fontosabb paraméternek számít, azokban a tanulmányokban, amelyek a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok hatását vizsgálják a talajegészség állapotára (Lenz és Eisenbeis, 2000; Bongiorno et al., 2019b; Schmidt et al., 2020), hiszen a nematódák között vannak gyökérfogyasztó fajok is, továbbá a nematódák jelenléte a különböző trofikus szinteken meghatározó a talajtáplálékháló egyensúlyának fenntartásához (Neher, 2001). Azonban vannak olyan tanulmányok is, amelyek a megnövekedett nematóda denzitásról számoltak be talajregeneratív módszerek hatására (Ito et al.

2015; Mendoza et al., 2008; Henneron et al., 2015), amely a mi vizsgálatunkban is megmutatkozott.

Kömlődön az ÖKO táblát csak három évvel a mintavétel időpontja előtt állították át ökológiai gazdálkodásra, és néhány fontos mutató tekintetében szignifikánsan jobb eredményeket tudott felmutatni a KONV-hoz képest. (12. táblázat) Ez összefüggésben lehet azzal, hogy a jobb talajtextúrán (vályog) hamarabb lehet elérni pozitív eredményeket a talajregeneratív módszerek hatására (Williams et al., 2020). Továbbá összefügghet a kettős termesztéses gyakorlattal, amit a gazda a kömlői ÖKO táblán alkalmazott. Az alávetésnek köszönhetően a takarónövényt kedvező körülmények között sikerült elvetni tavasszal a már fejlődő őszi búzába, hogy az aratás után meg tudott úgy erősödni, hogy nyár közepétől egészen a következő év tavaszáig takarja a talajt. A pillangós takarónövény a nitrogéntartalmat növelhette a talajban és a takarónövények további pozitív hatásai szolgáltathatta talaj számára., ráadásul a gyomokat sikeresen lehetett szabályozni művelés nélkül a táblán. Az irodalmak is azt feltételezik, hogy a művelés csökkentése mellett a takarónövények beillesztése jól működő módszer lehet a gyomszabályozásra (Wittwer et al., 2017; Seitz et al. 2023), sőt a takarónövények pozitív hatása jobban érvényesül kímélő művelés párosításával (Wittwer et al., 2017).

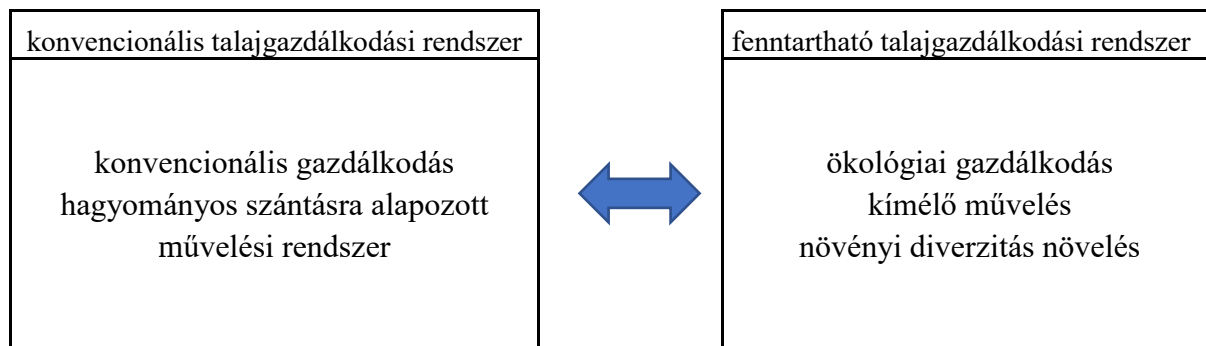
A füzesgyarmati táblák eredményein jól tükröződik (12. táblázat), hogy az ÖKO tábla már húsz éve átállt ökológiai gazdálkodásra, forgatás nélküli művelésre és a hagyományoshoz képest diverzebb vetésforgót alkalmazott, mivel itt a tartósabb indikátorok is mutattak szignifikáns eltéréseket (Hargitai-féle humusz minőség, pH). A füzesgyarmati konvencionális gazdaságban gazdálkodási naplót nem vezettek, de az interjúból kiderült, hogy általában mélyszántást alkalmaznak alpművelés gyanánt, azonban időnként mélylazítást is beillesztenek a műveletek közé. Mivel állattartás tartozott a gazdasághoz ezért istállótrágyát minden évben juttatnak ki a területeikre, tehát több szerves trágyát kapott a KONV tábla, mint az ÖKO. Azonban ez még sem látszott meg az eredményekben. Az intenzív mélyművelés okozta szerkezetromlás és szervesanyag csökkenés alacsonyabb talajegészség állapotot eredményezett, mint az ÖKO-ban, továbbá a műtrágya és szintetikus növényvédőszer alkalmazása is befolyásolhatta az eredményeket. Ez összhangban van azokkal a hosszútávú kísérletekkel, amelyek hosszútávon kimutattak javulást a talajminőségben vagy az ökológiai gazdálkodás hatására, vagy azon belül a kímélő művelés hatására (Kobierski et al., 2020; Littrell et al., 2021; Cooper et al., 2016; Krauss et al., 2022). A szervesanyag tartalom az irodalmak alapján csak hosszútávon eredményez kimutatható különbséget (West and Post, 2002; Cardoso et al., 2013; Stott, 2019).

A füzesgyarmati példa azt mutatta meg, hogy habár a szerves trágyázás számos kutatás szerint a legmeghatározóbb talajregeneratív módszer (Crystal-Ornelas et al., 2021), azonban, ha ez intenzív és mély műveléssel párosul konvencionális körülmények között összességében kevesebbet ér, mintha kevesebb szerves trágyát alkalmaznánk egy kímélőbb műveléses rendszerben nagyobb növényi diverzitással. Az intenzív és mély művelés a levegőztetés által gyorsan elégeti a szénkészleteket, továbbá az intenzív művelés akadályozza a tartós talajszerkezet kialakulását.

Azok közül a mérések közül, amelyeket két időpontban is vizsgáltunk, minden esetben csak egy mintavételi időpontban jeleztek szignifikáns különbséget (12. táblázat). Ez az eredmény

jól mutatja ezen indikátorok érzékenységet, mivel feltehetőleg egy közelmúltban történt talajkezelés hatására mutattak eltérő eredményeket fél év különbséggel.

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 statisztikai elemzésével, megkaptunk egy olyan eredményt, ahol a 3 összehasonlítás alapján megállapítjuk, hogy a két különböző gazdálkodási rendszer az alkalmazott mérési módszerek alapján összességében eltér-e, szignifikáns különbség van-e a két gazdálkodási rendszer között.



35. ábra: A talajgazdálkodási rendszerek összehasonlítása.

A statisztikai elemzés alapján elmondható, hogy a két gazdálkodási mód között szignifikáns különbség van ($p=0,011$). A mért paraméterek esetében azt látjuk (13. táblázat), hogy tulajdonképpen három mérés mutatott szignifikáns különbséget a két gazdálkodási rendszer között, az aggregátum stabilitás, a DHA és a nematóda denzitás.

8. táblázat: A regeneratív és a konvencionális talajgazdálkodási rendszer statisztikai összehasonlítása az on-farm kísérlet 6 táblájának standardizált adatai alapján.

	Sig.
Talajgazdálkodási rendszer hatása	0,011
Szerves anyag tartalom (SOM)	0,426
Humusz minőség (Hargitai-féle)	0,277
Humusz minőség (E4E6)	0,557
Aggregátum stabilitás index (ASI)	0,000
Nedvesség tartalom (ősz mintavétel)	0,635
Nedvesség tartalom (tavaszi mintavétel)	0,051
DHA (ősz mintavétel)	0,025
DHA (tavaszi mintavétel)	0,048
POXC (ősz mintavétel)	0,654
POXC (tavaszi mintavétel)	0,130
EESPRG (ősz mintavétel)	0,882
EESPRG (tavaszi mintavétel)	0,960
Nematóda denzitás (ősz mintavétel)	0,032
pH	0,277

4.4.3. A gazdákkal készített interjúk kivonata

Kömlőd – ökológiai gazdálkodó

Szabadka Péterrel, a kömlődi gazdaság vezetőjével készített interjúból kiderült, hogy 500 ha-on gazdálkodik, amiből ma már 450 ha ökológiai minősítésű terület. Minden évben körülbeül 50 ha-ral bővítette az ökológiai területeit és a célja, hogy az összes területe átálljon. A területek egy részét megörökölte és volt, amit vásárolt. 40 táblája van elszórva Kömlőd környékén és az átlagos táblamérete 10 ha. Korábban hagyományos művelést folytatott a területein, hagyományos szántásra alapozott művelési móddal és nagy mennyiségű input felhasználásával. Ez intenzív műtrágya és növényvédőszer felhasználását jelentette. Továbbá a vetéforgó is a hagyományos növényeken alapult: búzán, kukoricán, napraforgón és árpan. 2015-ben váltott át sekély (10 cm mély) művelésre az összes területén és 2017-ben kezdte meg a területeinek biová minősítését. Nála a váltás nem elsősorban egészségügyi vagy környezeti megfontolásból eredt, hanem gazdasági szempontok vezérelték. Rájött, ha az inputokat elhagyja, akkor lehet, hogy a termésátlagai elmaradnak az átlag terméshozamoktól, azonban kiadásai is drasztikusan csökkennek és a magasabb bio árak miatt a végén pozitívan jön ki a mérlege. Azóta semmilyen trágyát vagy trágya készítményt nem juttat ki területeire és növényvédőszeret sem használ. Arra is rájött, hogy az intenzív input használatnál sokkal fontosabb, az agrotechnikai módszereit fejleszteni. Nagy figyelmet fordít talajainak javítására, mivel az egy hosszútávon megtérülő befektetés, amely a tápanyagutánpótlást és a növényvédelmet is befolyásolja. Igyekszik olyan talajművelő eszközöket használni, amelyek legkevésbé rombolják a talaj szerkezetét. A kutatásban tárgyalt években csak rövidtárcsát használt a tarló előkészítésére és a magágyelőkészítésre, azonban elmondása alapján ez a művelőeszköz nagy mértékben porosítja a talajt, emiatt grúberre tervezi lecserélni. Az agrotechnika tökéletesítése mellett, fontos lépésnek tartja, hogy vetésforgóját kibővítette 10-12 növényre, amik a következők: bíborhere, bükköny, rozs, durum-, őszi- és tönkölybúza, árpa, tritikálé, homoki zab, facélia, napraforgó, köles, kukorica. A vetésforgó sokszínűsége mellett, azt is kulcsfontosságúnak tartja, hogy a talajaiban egész évben legyenek élő gyökerek. Így különböző együttvetéseket alkalmaz. Például őszi búzát együtt vet vörösherével. A vörösherét a búza tavasszal visszaveti, aratás után azonban erőre kap és hamar takarja a tarlót. Ez azért is fontos, mert a nyári vetés általában nehézkes a csapadékhiány miatt.

A bio minősítés miatt a gyomok elleni küzdelem a művelésre korlátozódik, így teljesen nem tudja elhagyni a művelést. Próbálkozott direktvetéssel, ahol is rögtön a tarlóba vetették a gabonát, amely sikeres is volt, de a terméshozam alacsonyabb lett. Ennek az volt az oka, hogy művelés hiányában intenzívebben gyomosodott a tábla és a tarlómaradványok akadályozták a gyomfészülést. Két kultúra között, átlagosan háromszor tárcsáz. A művelés teljes elhagyásánál kardinálisabb kérdésnek tartja a növények szerepét a talajban. Ha a felső 10 cm bolygatott is, a takarónövények gyökereit akár másfél méter mélyen is megtalálja a talajszelvény vizsgálatok esetén. Az előző művelési rendszerből adódtak talajkárok: sok tábláján máig megfigyelhető egy tömörödtebb réteg a szántás mélységében. Ez azonban javulni látszik a talajjavító módszerek alkalmazásával. Továbbá a belvizek is megszűntek azóta.

Kérdeztük a gazdát, hogyan sújtotta a gazdaságot a 2022-es aszály. A terméshozam kevesebb lett, azonban nem volt veszteséges az év. Azt nyilatkozta, hogy szerinté ilyen termesztési móddal, ahol a vetésforgóban 10-12-féle növényt termeszt és ahol nem használ inputanyagokat,

tulajdonképpen nem tud veszteséget termelni. Ez a termesztési mód pont ilyen aszályos években térül meg.

Kömlőd – konvencionális gazdálkodó

A kömlődi konvencionális tábla tulajdonosának fiával készített interjúból, kiderült, hogy habár még generációváltás nem történt, Kókay Lajos egyre több szerepet vállal a gazdaság működtetésében apja mellett. 170 hektáron folytatnak növénytermesztést. Az őszi kalászosok közül az őszi búza és tritikálé, kapásnövények közül pedig a kukorica és a napraforgó szerepel a vetésforgóban. Továbbá évelő pillangós gyanánt lucernát is termesztnek. A gazdaság által művelt területméret 21 blokkban található. A táblák eltérnek domborzat, tápanyagellátottság, kötöttség, talajtípus és méret szerint. Továbbá nem csak táblák között vannak eltérő adottságok, de egyes tábláknál, táblaszinten belül is jelentős eltérések vannak. Körülbelül 2019-ig teljesen hagyományos forgatásos művelést alkalmaztak, ezután kezdték el fokozatosan a forgatás nélküli művelést a területeiken. Az általunk vizsgált területről, amely a kömlődi táblák között Konv-szántott néven szerepel a dolgozatban, még a forgatásos talajművelési rendszer időszakából vettünk talajmintát. Azonban később újabb szemlélet jelent meg a gazdaságban. Ez köszönhető egyrészt Lajos egyetemi tanulmányainak, ahol már újabb irányzatokat is tanultak, továbbá hatással volt az általunk vizsgált szomszédos ökológiai gazdálkodó, Szabadka Péter is a gazdálkodói gyakorlatokra. Azóta forgatásos művelés mellett forgatás nélküli talajművelést is alkalmaznak. A talajművelés kiválasztását befolyásolja a termeszteni kívánt főnövény művelés felé támasztott követelménye, az elővetemény szármaradványának mennyisége, fajtája, illetve az évjárat is. Leginkább az őszi vetésű kalászosok alpművelése történik forgatás nélküli technológiával, míg a tavaszi vetésű növények alpművelése forgatásos technológia alapján történik. Egy ideje takarónövényt vagy zöldtrágyanövényt is használnak. A szervesztrágya pótlása mindig a tarlómaradványok visszaforgatásával történik, a szármaradványokat nem hordják le a területről. A tápanyagutánpótlás műtrágyával és lombtrágya készítményekkel történik. Növényvédő szereket évjáratától függően használnak azonban általánosságban elmondható, hogy kalászosok esetében minden évben 1-2x alkalommal gombaölő és rovarölőszeres kezelés történik. Napraforgó és kukorica esetében preemergens és posztemergens gyomirtás zajlik. A művelés tekintetében elmondható, hogy tárcsát (5-10 cm mélységben), ekét (20-30 cm mélységben), középmélylazítót (30-40 cm mélységben) és magágyelőkészítőt (7-10 cm mélységben) használnak. Minden évben más mélységben művelnek, hogy elkerüljék az eketalp betegség kialakulását. A takarónövények és a forgatás nélküli művelés előnyeit tapasztalják talajaikon.

Szár – ökológiai gazdálkodó

Nobilis Ágostonnal, a szári gazdaság vezetőjével készített interjúból kiderült, hogy apjától vette át a gazdaság irányítását 2015-ben. 300 hektáron gazdálkodnak, amelyből 265 ha szántóföld, 20 hektár gyümölcsös. 2015-ig, konvencionális, szántásra alapozott gazdálkodást folytattak. A vetésforgó négy növényből állt: repceből, kukoricából, napraforgóból és mustárból. A tavaszi vetésű kultúrák alá szántottak, az ősziek esetében tárcsázás volt az alpművelés. Az eke mellett nehéztárcsát és grúbert használtak. Elmondása alapján komoly eketalp és tárcsatalp betegség figyelhető meg több tábláján. Amikor ő lépett a vezető szerepbe, azonnal elkezdte ökológiai minősítéshez átállítani az összes szántóföldi területet. Kiszélesítette a vetésforgót, ma 10 féle növényt termeszt, amelyek a következők: búza, rozs, tönke, alakor, olajlen, napraforgó, lucerna,

borsó, hajdina, kukorica. A talajművelés kapcsán elmondható, hogy alapvetően sekélyművelést alkalmaz rövidtárcsával és csökkentette a talajművelő gépek menetszámát. Két kultúra között átlagosan kétszer tárcsáz és egyszer grúberezik. A tarlókezelésen is változtatott, egyrészt magasabban aratja a kultúrnövényeket, másrészt a rövidtárcsa nem forgatja, hanem vágja és sekélyen dolgozza el a területen maradt tarlót. A megváltoztatott művelési eljárásoknak köszönhetően a korábbi eróziós károk megszűntek. Tápanyagutánpótlást alkalmaz, legfőképp pelletált szerves trágya formájában. Téli takarónövény-keverék vetését is próbálta pár alkalommal.

Füzesgyarmat – ökológiai gazdálkodó

Földi Mihály a füzesgyarmati ökológiai területek gazdája 1992 óta biogazdálkodó. Az 53 hektár területét fokozatosan állította át. Vetésforgója igen színes, sokféle növényt termeszt, úgy mint: édeskömény, mustár, őszi búza, borsó, lenmag, görögszéna, baltacim, szarvaskerep, alakor, tönke, lucerna, tönkölybúza, napraforgó, köles. Hat tábláján mindig legalább 3féle növényt termeszt. Szervestrágyát körülbelül minden harmadik évben juttat ki a területére, főleg birka és szarvasmarha trágyát. 2012 óta forgatás nélküli művelést alkalmaz Művelőeszközei a sima és csipkés tárcsa (15 illetve 30 cm mélységben művel), rövid tárcsa (20 cm mélységben műveli). Szokott kísérletezni kettős termesztéssel, ahol a zabot szegletes lednekkel és búzát borsóval együtt vet. Két gabona közé pedig mustárt szokott vetni. A szomszédos gazdaságokhoz képest azt tapasztalja, hogy több a giliszta a talajaiban és teljesen más gyom populáció nő az ő területein. A szármaradványt némely esetben lehorják a területről, de általában a területen marad.

Füzesgyarmat – konvencionális gazdálkodó

A füzesgyarmati Konv-szántott terület egy kisebb gazdaság táblája, amelyhez állattartás is tartozik. Összesen 50 hektáron 10 különböző tábla tartozik a gazdasághoz. Az állatok 16 ló, 5 szarvasmarha és 11-12 sertés. Saját trágyát használ minden évben talajain továbbá műtrágyát is, körülbelül 150 kg nitrogént hektáronként. A vetésforgóban búza, árpa, kukorica és napraforgó szerepel hosszú évek óta, ritkán pedig lucerna is előfordult. Átlagosan gyomirtót és rovarölőt egyszer, gombaölőt pedig kétszer használ egy évben. Talajművelés tekintetében tárcsázás (20 cm mélyen), lazítózás (50 cm mélyen) és szántás (35 cm mélyen) valósul meg területein, továbbá kombinátor és borona. Lazítót minden második évben alkalmaznak, hogy eketalpréteg ne alakuljon ki.

Füzesgyarmat – konvencionális gazdálkodó

A füzesgyarmati Konv-forgó nélküli tábla egy nagy hétszáz hektáros gazdasághoz tartozik, ami ötven különböző táblából áll. A gazdaságban a vetésforgóban kukorica, napraforgó, búza, árpa és repce szerepel. Minden növényhez tartozik egy művelési sorozat, de kedvezőtlen időjárás vagy talajállapot esetén alkalmazkodnak a fennálló helyzethez és ahhoz mértén változtatnak a művelési gyakorlaton. A jobb talajadottságú területeken alkalmaznak szervestrágyázást, de alapvetően a műtrágya a tápanyagutánpótlásnak a módja. Növényvédőszerrel búza esetében kétszer alkalmaz repce esetében akár tizenkétszer is. Gyomirtót kultúrától függően egy-háromszor alkalmaznak. A talajművelés tekintetében a szántást szinte teljesen elhagyták, csak abban az esetben alkalmazzák, ha mindenképp művelniük kell és túl nedves a talaj más műveléshez. Két évente alkalmaznak mélylazítást (45-50 cm mélyen), a tarlókántálás pedig rövidtárcsával végzik (20 cm mélyen), továbbá van egy Top-down nevű több-soros kombinált művelőgépük, amely egyszerre képes

tarlólánhántást, mélylazítást és elmunkálást végez. A szármaradványt a területen hagyják a legtöbb esetben.

Bugac – ökológiai gazdálkodó

Gál László a gazdálkodást 29 hektáron ökoszántóföldön végzi. Ezen felül 200 hektár gyepterülete van. Ebből 170 hektárt a nemzeti parktól bérel, ez Natura 2000-es terület, amelyen szarvasmarhákat legeltet. Gazdaságuk vegyes gazdaság, melynek fontos eleme a takarmánytermesztés, ám nem tudnak elegendő mennyiségű szénát betakarítani, ezért szántóföldi növényeket is természetnek, pillangósokat, szudánifüvet, rozst, sárgarepcét, magvas gomborkát, csicseriborsót. A területre jellemző meszes homok talajon rozst és somkórót váltogatva vagy együtt termesztik. Ez utóbbi esetben a szélesebb sorokban gabona kerül, közé pedig a somkóró. Aratás után a következő évben a somkórót lekaszálják, bálázzák és takarmány lesz belőle. A gazdaságban minimum művelést végeznek, de van tábla, amit egyáltalán nem is végeznek művelést. Ezeken direktvetéssel dolgoznak, és főleg gabonatablák vagy takarmánynövények esetében lehet ezt alkalmazni. Apró magoknál műveléik a talajt, ha minimálisan is, mert jobb magágyra van szükség.

A művelőeszközök tekintetében szántóföldi rugós kultivátort használnak nagyobb területek megművelése esetén. Ezen kívül használnak még vertikális, egyirányú tárcsát, amely nem forgat, csak vágást csinál a talajon; ásóboronát, illetve ásóboronával összeépített elektromos vetőgépet, ami boronál és utána elszórja a magot szóróvetéssel vagy soros vetéssel. Tárcsás direktvetőgépük is van, amely úgynevezett háromlemezes, tehát dupla tárcsás csoroszlya van, előtte pedig egy nyitócsoroszlya, ami megnyitja a keményebb tarlókat is. Továbbá van egy rugós fogas csoroszlyás vetőgépük is. Ezekkel a gépekkel 4-5 cm mélyen művelnek, de lehet 3 cm-en is, ami éppencsak a tetejét, a rajta kelő gyomokat forgatja ki. A kultivátor is csak 6-7 cm mélyen művel, csak a talaj felszínén, mert csak gyomtalanításra használják, pl. gabonaaratás után, amikor magastarlót hagynak, ám ha gyomos, akkor szárzúzóval kezelik, lezúzzák róla a magas fűvet, de nem a talajt magát forgatják. Erősen gyomos szántó esetén először géppel végigmennek a táblán és kiforgatják a gyomokat (4-5 centiméter mélységben), majd a következő műveletben szintén művel a gép, de ekkor már a magot is elveti, a végén pedig hengerrel zárják le. Ez minimális művelésnek felel meg a gazda elmondása szerint. Direkt vetés esetében vagy közvetlen a tarlóba vetnek, vagy más egyéb helyre pl. lucernatablába, amit nem törtek fel, hanem újravetnek. A talajlazítást növényekkel végzik, retekfélékkel, talajművelőretekkel, mustárral, egyéb mélyen gyökerező növényekkel. Ezt hosszú évek óta így alkalmazzák. Megfigyeléseik és talajvizsgálatok szerint ennek eredményeképpen növekszik a szerves anyag tartalom, nem szárad ki olyan gyorsan a talaj, és nem is melegszik fel olyan könnyen, valamint mivel nincs bolygatva a talaj, ezért a széndioxid megtartása is lényegesen jobb.

Ezeknél a technológiáknál a fő problémát a gazda tapasztalatai szerint a gyomok okozzák, ezért visszaszorításukra nagy figyelmet kell fordítani, pláne, hogy a jellemző tavaszi aszályok nem a kultúrnövényeknek, hanem a gyompopulációnak kedveznek. A gyomirtást mechanikai úton végzik, például gyomfésűvel vagy finom kultivátorozással, más lehetőség nem is igazán van. Esetleg még a megfelelő talajlefedettséget elérve, takarónövényekkel lehet visszaszorítani őket, amennyiben a takarónövényeket nem dolgozzák be, csak koratavasszal, vetés előtt. Saját tapasztalataikra hagyatkozva alakították ki, hogy milyen keveréket használnak, de az időjárástól is nagyban függ. Például a klasszikus zöldtrágya vetés, ami általában a nyári betakarítás után történik, az ezen a területen az elmúlt 5 évben tapasztalt aszály miatt nem alkalmazható, hiszen

mikor ezeket kéne vetni, akkor nagy a szárazság. Helyette területeinket magas, 25-30 centiméter magas gabonatarlót hagynak, ahol később sem végeznek tarlóművelést, sem boronálást, hanem meghagyják, hogy védje a talajfelszínt és csak ősszel vetnek takarónövényt. Lényeges a takarás és, hogy minél több szármagadvány maradjon a földben, mert azzal lehet elérni, hogy ne melegedjen fel a talaj, és ne menjen ki annyi nedvesség belőle. A gazda elmondása szerint ezt a módszert próbálják minél jobban elterjeszteni, valamint azt, hogy minél kevesebb művelés legyen, ám egyelőre mások a környéket nem alkalmazzák takarónövényeket, azt még csak nagyon kevesen próbálták ki. A legtöbb gazdálkodó inkább arra hajlik, hogy felhagy a gazdálkodással, inkább erdősíti a területet, és a hagyományos eszközökkel (eke, tárcsa, borona) sem akarnák folytatni.

A 2022-es aszályt illetően a gazda hozzáteszi, hogy itt már 2021 is aszályos volt, de valóban 2022 volt a legszélsőségesebb. Ekkor ők a szántón szudánifüvet tudtak termelni és egyéb keverékeket, de a júliusi, augusztusi időszakban egyáltalán nem volt legelő, kiégett, ezért a szántóföldön legeltették a marhákat, ahol nemcsak szudánifű, de mindenféle takarmánynövény, homokizab is megtalálható volt. Ekkor a fővetést lekaszálták és szánát készítettek belőle, a másodvetést pedig legeltették, ezzel az egy hónap súlyosan aszályos időszakot ki tudták védeni, de így is nehéz időszak volt, a borjúsaporulat is igen gyenge volt. A téli időszakra sem tudtak elegendő szénát betakarítani, ezt rozssal pótolták, valamint abrakkal. A gazda szerint ilyen időszakok még sokszor lesznek, erre fel kell készülni.

Az állatok trágyájának egy részét helyben, a saját gazdaságba jutattják ki, ez komposztálva van egy Bakteriolit nevű készítménnyel. Egy tápanyagterv alapján szórják ki az adott évben soron következő 2-3 táblára. A fennmaradó trágyamennyiséget szalmára, rozsszalmára cserélik más gazdákkal. Az állatok a terület egy részére rendszeresen, bizonyos időszakokban rájárnak, és van, amikor az első kaszálás után a másodikat lelegeltetik inkább, mivel nem is lenne érdemes kaszálni ezt a területet még egyszer. E megoldásnak előnyös hatása csak még intenzívebb legeltetés esetén válna érezhetővé, de a gazda elmondása szerint az állatok által járt területeken sokkal jobb a talaj szervesanyagtartalma. Viszont lényeges, hogy a szántókon úgy kell legeltetni, hogy az ott lévő növényzet 30-40%-a megmaradjon, mert ha teljesen letartolják, nincs értelme.

A gazdaságban általában baktérium- és gombaadalékokat használnak, talajoltót, tarlóbontót. Talajvizsgálatokkal ellenőrzik, hogy miből szenved hiányt a talaj, de mivel a homoktalajok jellemzően kénhiányosak, ezért folyékon kénnel pótolják ezt. A tápanyagok visszapótlását nemcsak komposzttal, hanem pillangós növények bedolgozásával oldják meg.

Talajmintavétel során is észlelhető volt, hogy mennyire heterogén a talaj, és ezt a gazda is megerősítette: van ahol nagyon homokos, míg máshol, homokos vályogtalaj a jellemző. A silányabb, homokos talajra rozst, somkórót, szudánifüvet vetnek, mert ezek jobban bírják a sivatagos részt, a gazda elmondása szerint. A talajvizsgálatok azt is kimutatták, hogy a talaj nem romlik, sőt, humusztartalom növekedése figyelhető meg az elmúlt években még az elsivatagosodás ellenére is.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

5.1. A talajregeneratív gazdálkodás hatása a talajra és beilleszthetősége ökológiai gazdálkodásba

A rövidtávú szántóföldi kísérlet alapján azt a következtetést tudjuk levonni, hogy az ökológiai gazdálkodásba beillesztett talajregeneráló módszerek két év után nem mutatnak látványos eredményeket, amely összhangban van több szakirodalomban leírtakkal is. Azonban az enzimaktivitás szignifikáns különbséget tudott kimutatni a kímélő talajműveléses és takarónövényes tábla javára a hagyományos szántásos műveléshez képest, amely már indikálhatta, hogy a folytatott módszer később a talaj más paramétereiben is mutathat javulást.

A kutatások közül az on-farm kísérlet volt az, amely a leghasznosabb eredményeket nyújtotta a talajregeneráló talajgazdálkodásról. A három táblapáros esetében, ahol a konvencionális hagyományos szántásra alapozott művelést és az ökológiai talajregeneratív gazdálkodást tudtuk összehasonlítani, egyértelműen azt mutatta, hogy van értelme és létjogosultsága a talajregeneratív módszerek alkalmazásának. Összességében szignifikánsan eltért a két gazdálkodási forma és már rövid távon is mutatkozott a legtöbb paraméterben különbség a regeneratív gazdálkodás javára az érzékeny indikátorokban. Ez lehet annak az eredménye is, hogy együttesen alkalmaztak több talajregeneratív módszert (kímélő talajművelést és a növényi diverzitás növelését) 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 továbbá, 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 időszakra 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 növényvel 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 tudtunk 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 teljesen eltüntetni a regeneratív módszer pozitív hatását. A füzesgyarmati konvencionális hagyományos talajművelést alkalmazó gazdálkodó, nagy mennyiségű szerves trágyát 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.

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 féleságú talajokon

Habár az on-farm kutatások tudományos értékelését megnehezíti a sok változó elem, azonban a valós gazdálkodási körülmények, és 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 elmeséljék saját tapasztalataikat is.

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 már nem jelentkezett. Továbbá a takarónövények alkalmazásnál megfigyelték a talajok nagyobb fokú nedvességmegőrzését és a deflációs-eróziós károk csökkenését.

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 évszakokban 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 terméshozam szempontjából szegényebb év sem érinti súlyosan a gazdaság költségvetését, legalábbis nem olyan szinten, ahogy egy nagy kiadásokkal rendelkező gazdaságnál.

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 gazdálkodók esetében könnyebb a talajregeneratív módszerek alkalmazása, mert sok esetben rendelkezésre álnak jobb gépek, amelyekkel egyszerűbben tudják adaptálni a talajkímélő művelést. 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 modernbb gépek álltak rendelkezésére, amelyek összekapcsolt műveletekkel képesek elvégezni több műveletet és a tarlómaradványt is könnyedséggel dolgozzák be a talajba akár 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. További idő és türelem szükséges ahhoz, hogy a megismert technikákat a saját területükre sikeresen tudják adaptálni.

5.2. Az indikátorok értékelése a kutatások alapján

Kutatásunk visszatükrözte az szakirodalomokban közöltek, miszerint a szervesanyag tartalom csak hosszútávon képes kimutatni a fenntarthatóbb talajgazdálkodásra való váltás hatását (Stott et al., 2019). Az előkutatásból jól megfigyelhető, hogy a talaj, ahova a mintavételt megelőző 20 évben mezővédő sövényt ültettek, magasban több szervesanyagot tartalmazott (érték) mint a többi művelt terület. A 9 éve telepített gyümölcsös, melynek aljnövényzete füves-pillangós kaszáló nem mutatott különbséget a szervesanyag tartalomban az intenzívebben művelt területekkel összehasonlítva. Egyedül az élő pillangós mutatott magasabb szervesanyag tartalmat, de ez nem volt statisztikailag alátámasztott. A soroksári rövidtávú kísérlet sem mutatott különbséget a szervesanyag tartalomban a kímélő műveléses területen a hagyományos művelésű területtel összehasonlítva. Habár az on-farm kísérlet legjobban összehasonlítható tábláin számos szignifikánsan magasabb értéket mértünk több paraméterben a fenntarthatóbb talajgazdálkodás esetén, a szervesanyag szintjében nem volt szignifikáns különbség, kivéve az egyik, már 20 éve ökológiai gazdálkodásra áttért táblánál (Öko-fornélkül). Ha nem is volt szignifikáns eltérés a 3-5 éve átállt területeken, azonban egy enyhén magasabb átlagérték megfigyelhető volt. A korrelációs összefüggések alapján elmondható, hogy a legtöbb esetben pozitívan korrelál például a DHA-val, kivéve az on-farm kísérlet Füzesgyarmati és Bugaci tábláján. Rövidtávon ezért kiváltható lenne más méréssel, amely érzékenyebben reflektálja a talajban végbemenő folyamatokat. Kutatásaim alátámasztották a legtöbb irodalomban szereplő eredményeket a szervesanyag tartalommal kapcsolatban, miszerint hosszútávon lehet jó, mint az egyik talajegészség indikátor.

A humusz minőséget csak az on-farm kísérlet esetén végeztünk, azonban kétféle vizsgálattal is. A két vizsgálat 3 település esetén szignifikánsan korrelált egymással, amely megerősíti a kapott eredményeket. Egyedül Bugac esetében volt negatív korreláció megfigyelhető. A nemzetközileg elfogadott E4/E6 vizsgálat kisebb eltéréssel mutatta a különbségeket, mint a magyar (Hargitai-féle) módszer, ezért a Hargitai-féle módszer jobb indikátornak tekinthető ezen kutatás alapján. Ha a településeken belül nézzük az eredményeket, akkor azt láthatjuk, hogy több szignifikáns eltérés is született, azonban, ha az egymás mellett fekvő táblákat hasonlítjuk össze, akkor csak a 20 éve öko termesztésre átállt terület mutatott szignifikánsan magasabb humuszminőségi számot és csak a Hargitai-féle mérés alapján. A humusz tartalommal csak Kömlőd és Szár esetén korrelált a maradék két településen pedig nem vagy negatívan korrelált. Hasonlóan alakult több más indikátor esetén is (nedvességtartalom, DHA, glomalin) ezért feltételezhetjük, hogy a többi indikátorral való összefüggését befolyásolja a talajtípus. Füzesgyarmat esetén egy sokkal összetettebb képet kaphattunk a táblák talajának állapotáról azáltal, hogy nagyjából azonos humusztartalomhoz sokkal alacsonyabb humusz minőséget mértünk. Ezért úgy gondolom, hogy értékes adattal szolgálhat a humusztartalmat kiegészítve. A humusz minőségről, mint talajegészség indikátorról, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy 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. Azonban Füzesgyarmat esetében, amely 20 éve váltott gazdálkodási formát a pH-ban is kimutatható volt a szignifikáns változás (érték). Ez alapján

következtetésképp megállapítható, hogy alkalmas lehet a talajban végebemenő 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, az on-farm kutatásban szintén elmondható ez Kömlőd és Szár esetén. Konzekvens és megbízható mérésnek bizonyult, mivel a két mintaételi 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 Szár és Füzesgyarmat esetén is egy mintavételi időpontban szignifikánsan magasabb eredményt (értéke) mutatott a talajregeneratív gazdálkodási gyakorlatok hatására, tehát korai indikátornak is használható. Két terület összehasonlítására azonos időben vett mintavétel esetén alkalmas paraméter. Sajnos egy adott tábla talaj fejlődésének indikálására csak kontroll mellett alkalmas.

Az *aggregátum stabilitás* jó indikátornak számít az irodalmak alapján, ha eltérő talajgazdálkodás hatását szeretnénk értékelni és ezt kutatásunk is alátámasztotta. Ebben a kutatásban az aggregátum stabilitás két szempontból is értékelésre kerül, egyrészt mint talajparaméter, amely meghatározó indikációval rendelkezik, másrészt mint mérési módszer, amely nem régóta került a köztudatba. Ugyanis a SLAKES nevű okostelefonos alkalmazást csak néhány kutatás alkalmazta a jelenlegi tudományos publikációk alapján. Mivel 2023-ban jelent csak meg az alkalmazás, 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 talajregeneratív módszerekkel, 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 talajok esetében (humusz mennyiség, humusz minőség, enzimaktivitás). Ez a tulajdonsága előnyös, mivel elképzelhető olyan helyzet, ahol míg más paraméter (még) nem tud kimutatni változást a talajban, az aggregátumstabilitás azonban képes lehet. A korrelációs vizsgálatok alapján továbbá több esetben előfordult, hogy a nematóda denzitással, a baktérium mennyiséggel és a DHA-val pozitívan korrelált. Ezt összevetve az irodalmakkal arra a következtetésre juthatunk, hogy gyorsabban változó biológiai paraméterekkel van összefüggésben. Habár homoktalajon a szervesanyag tartalom erősen befolyásolja az aggregátum stabilitást, amelyet kutatásunk is alátámasztott. Több irodalom azt is mondja, hogy a glomalin tartalommal szoros összefüggésben van, amelyet a mi eredményeink nem támasztanak alá, mivel egyik település esetében sem mutatott korrelációt a két paraméter. A legfontosabb következtetés az aggregátummal kapcsolatban, hogy nem befolyásolja a talajtextúra amely kiemeli a többi vizsgálati paraméter közül, azonban érzékeny a művelés hatásaira, mivel a településeken belül általában a hagyományos szántásra alapozott művelésű talajokon mutatta a legalacsonyabb indexszámot. Kutatásunkban egyszer mértük meg az aggregátum stabilitást, azonban ajánlatos lehet egy tenyészidőszakon belül többször is elvégezni, vagy jól meghatározni az idejét, pontosan azért, mert érzékeny a művelésből eredő beavatkozásokra (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 szervesanyagának olyan formája, amely gyorsabban változik a talajban és ezért alkalmas lehet egy talajgazdálkodás váltás hatásának korai jelzésére, amelyet kutatásunk is alátámasztott. Habár a rövidtávú kísérletben 2 év talajkímélő művelés és takarónövény használata ökológiai gazdálkodásban nem volt elég arra, hogy kimutatható változás legyen ebben a paraméterben. Azonban az on-farm kísérletben a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok hatására mutatott szignifikás eltéréseket. Továbbá az egymás mellett fekvő táblák között is mutatott eltérést a 3-5 éven belül talajregeneratív talajgazdálkodásra váltott táblák javára. Azonban megfigyelhető volt, hogy a két mintavétel (őszi és tavaszi) eredményei 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 tenyészidőn 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* vizsgálat mind a négy kutatásban alkalmazásra került. Ennek tükrében és a kapott eredmények fényében elmondható, hogy kutatásaim alapján ezt az indikátort találtam a legalkalmasabbnak a talajhasználatból eredő változások detektálására. Az előkutatásban, habár statisztikailag nem volt alátámasztott, azonban mutatkozott különbség egy gazdaságon belül az eltérő talajgazdálkodási múlttal rendelkező táblák között és több mintavételi időpont esetén konzekvens adatokat nyújtottak, korreláltak egymással. 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 enzimaktivitásra 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 statisztikai vizsgálat esetében, ahol arra voltunk kíváncsiak, a legjobban összehasonlítható táblák esetében, hogy a regeneratív módszerek alkalmazása szignifikáns hatással van-e a talajra, azt találtuk, hogy 3 paraméter alapján igen, és ebből az egyik a DHA, amely mind két mintavételi időpontban szignifikáns eredményt mutatott. Az on-farm összesített korrelációs vizsgálatában és külön külön településenként is a DHA mintavételi időpontjai között - Szár település kivételével - mindenhol pozitív korrelációt mutatott, amely szintén alátámasztja, hogy megbízható és konzekvens adatokat szolgáltat. Ha megnézzük azonban a településeken mért eredményeket, akkor láthatjuk, hogy a konzekvens adatokat azonban eltérő különbséggel mutatta, amely egyik évben szignifikánsnak számított, másik évben pedig nem. Ez szintén visszavezethető arra, hogy a különböző talajművelési beavatkozások átmeneti kilengést tudnak okozni. A szári adatokban ez tükröződhet, mivel a táblák különböző állapotban voltak a talajmintavételezéskor és a két mintavételi időpont közül az mutatott szignifikáns eredményeket, amely esetében mind két táblát egy hosszabb nyugalmi időszak előzött meg. Tehát a DHA esetében is fontos, hogy jól válasszuk meg a mintavételezés időpontját, lehetőleg olyan időpontot válasszunk, amelyet nem előzött meg a közelmúltban talajművelés. Ezen kutatás esetében a májusi mintavételezés megfelelőnek tűnt, ugyanis, akkor már a legtöbb növény elvetésre került és a talaj hosszabb idő óta nyugalmi állapotban volt.

A *glomalin tartalomról* összességében elmondható, hogy konzekvens adatokat szolgáltatott, mivel az on-farm kutatás összesítő korrelációs vizsgálat esetében is és több település

esetében is pozitívan korreláltak a két mintavételi időpontban vett minták. Továbbá a korrelációs eredmények azt mutatták, hogy sok más paraméterrel is pozitív összefüggést mutatott. Azonban, ha megnézzük glomalin eredményeit a rövidtávú kísérletben, a tenyészedényes kísérletben és az on-farm kísérletben, azt látjuk, hogy nem mutatott jelentős különbségeket, kevés szignifikáns eltérés született az adatok alapján. Tehát, ha konzekvens adatokat is nyújt, amelyek összefüggésben vannak néhány másik fontos paraméterrel a különbségeket nem mutatta olyan nagy eltéréssel, hogy az jelentős mértékű legyen. Ez különösen igaz az on-farm kísérleten belül az egymás mellett fekvő és jól összehasonlítható táblák esetében. Ha a 3 táblapárost nézzük, amelyek esetén a konvencionális szántásos művelés és az ökológiai talajkímélő művelés került összehasonlításra, ott azt láthatjuk, hogy az érzékenyebbnek titulált talajparaméterek közül ez mutatta a legkevesebb szignifikáns eltérést, csupán egy mintavételi időpont esetében a kömlődi tábláknál. Továbbá ezen kutatásaink, nem támasztották alá az irodalmak alapján megállapított összefüggéseket miszerint a glomalin jelenléte összefüggésben van az aggregátum stabilitással és a talajbolygatás csökkentésével. Olyan táblán is mutatott magasabb értéket a szomszédos táblával összehasonlítva Füzesgyarmat esetében, ahol szinte minden más összefüggő paraméter alacsonyabb értéket mutatott. Ez alapján arra következtethetünk, hogy nem csak a mikorrhiza befolyásolhatta alakulását, hanem az alkalmazott trágya is. A leírtak tükrében a glomalint feltételesen tartom megfelelő indikátornak, csak 5 évnél hosszabb távon és mérések ismételtesével gondolom azt, hogy kimutathat jelentős különbségeket 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. Két településen (Kömlőd és Szár) két mintavételi időpontban is mértük és a két mintavételi időpontban vett adatok az összesített korrelációs vizsgálat alapján is és a két település alapján is pozitívan korreláltak, amely általában szignifikáns volt. Tehát konzekvens adatot nyújtottak. A tartós indikátorokkal kevésbé függött össze az eredményük, azonban baktérium mennyiséggel minden mért esetben szignifikáns összefüggést mutatott és az aggregátumstabilitással is több esetben. Néhány esetben pedig az enzimaktivitással és glomalinnal is pozitívan korrelációt mutatott. Ezek alapján elmondható, hogy alapvetően a gyorsan változó paraméterekkel van nagyobb összefüggésben és azon belül is legfőképp a biológiai paraméterekkel. Ha táplálékháló dinamikáját vesszük alapul, akkor például a nagyobb baktérium jelenlét eredményezhet egy nagyobb baktérium fogyasztó fonálféreg populációt.

Ha a 3 táblapár összesítő statisztikai elemzését nézzük, ahol a konvencionális szántásos gazdálkodás került összehasonlításra az ökológiai és kímélő talajműveléses 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 volt ez a 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. A Baermann-féle futtatásos 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.

A baktérium mennyiség esetében is igaz, hogy vizsgáltuk, mint indikátor, amely jelezheti a talajban végbemenő változásokat, de teszteltük magát a mikroszkópos módszert is, amivel nyertük az adatokat. 3 kutatásban is mértük a baktérium mennyiséget: az előkutatásban, a szabadföldi kísérletben és az on-farm kutatásban is. Az előkutatás szépen mutatta, hogy a baktérium mennyiség tulajdonképpen negatív összefüggésben van az enzimaktivitással és a humusz növekedésével. Ahogy egyre összetettebb a talajtáplálékháló, úgy egyre inkább a magasabb rendű mikroszkópikus szervezetek kerülnek túlsúlyba, tehát a baktérium mennyiség nem növekszik egyenes arányosan a talaj minőségének javulásával, sőt akár csökkenhet. Ezért a gomba, baktérium arány is egy meghatározó mutatója lehet a talajegészségnek. Az on-farm kutatásban is alig mutatott korrelációt más paraméterrel. A *nematóda jelenléttel* mutatott szignifikáns korrelációt több esetben, amely összefüggést az előző bekezdésben tárgyaltunk. A mikroszkópos baktériumszámolás módszerének hátránya, hogy a higitási sorral nő a hibalehetőség, a vizsgáló a saját szemével végzi a számolást, amely szintén növeli a hibalehetőséget. Továbbá a vizsgáló nem tudja megkülönböztetni az élő és az elpusztult sejteket, így nem csak az aktív baktérium populáció kerül megszámlálásra. Az eredmények azt is mutatják, hogy nagy szórással kaphatunk adatokat, amely tovább ronthatja az értékelhetőséget. A talaj-táplálékháló analízist a hátrányok ellenére komposzt mikroba populációjának csoport szintű elemzésére alkalmasnak találtam. Nagy mintaszámú sok ismétléses kutatásra azonban nem találtuk alkalmasnak.

5.4. A kutatás gyakorlati haszna

A mért indikátorok, amelyek rövidtávon is ki tudtak mutatni változást a talajban a talajregeneratív módszerek hatására javasolhatók olyan gazdálkodók számára, akik nyitottak a regeneratív talajgazdálkodásra való váltásra és szeretnék nyomon követni a talajaikban végbemenő változásokat. Gazdafórumokon, gazdáknak szóló előadásokon a kapott eredmények meggyőző érvként szolgálhatnak azoknak a gazdáknak, akik bizonytalanok a regeneratív gazdálkodásra való áttérésben a sok kihívás miatt. Továbbá a kapott eredmények hozzájárulhatnak az eredményalapú támogatási rendszerek kidolgozásához, hiszen ezekben rendkívül fontosak azok az indikátorok, amelyek egy finanszírozási ciklus alatt képesek kimutatni a javulást a talajban.

A kutatásban elért eredmények alapján, a gazdák részére ajánlható a SLAKES nevű applikáció, és a Baermann-féle fonálféreg futtatásos módszer, amellyel akár saját maguk is nyomon követhetik talajaik fejlődését.

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 - kémelő 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.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Számos irodalom beszámol az ökológiai gazdálkodás, a kímélő talajművelés és a növényi diverzitás növelésének pozitív hatásáról a talajra, több irodalom mégis megkérdőjelezi ezeket, más irodalmak pedig az alkalmazott technikák korlátozó tényezőiről számolnak be, ami növeli a földhasználók bizonytalanságát. Számos szakirodalom ugyanakkor jelzi, hogy többféle talajregeneráló módszer együttes alkalmazásával bizonyos nehézségek (pl. gyomszabályozás is) áthidalhatók és a veszteségek (pl. terméshozamban) minimalizálhatók. Az együttes alkalmazásokkal gyorsabban érhetők el a várt javulások a talaj minőségében hosszabb távon, aktuális állapotban pedig a talaj egészségi állapotában. Három szabadföldi és egy tenyészedényes kísérlet segítségével vizsgáltuk a talajregeneratív módszerek hatását a talaj egyes indikátoraira.

Egy *előkísérletet felhasználva* egyazon gazdaságon belül (MATE, Kísérleti üzem és tangazdaság, ökológiai gazdálkodás ágazat, Soroksár) hasonlítottunk össze különböző talajhasználatú területeket, számos paraméter alapján, keresve a leginkább érzékeny indikátort a földhasználattal kapcsolatban. Az alkalmazott vizsgálatokban a talaj bolygatása és a vetésforgóban szereplő növények hatással voltak a vizsgált paraméterek eredményeire. A kirajzolódó trendek és az indikátorok eredményei kijelölték a további kutatási irányt.

A *szabadföldi kísérlet során* (MATE, Kísérleti üzem és tangazdaság, ökológiai gazdálkodás ágazat, Soroksár) háromféle talajkezelési módot hasonlítottunk össze ökológiai gazdálkodásban: hagyományos művelést (SZ), talajkímélő művelést (K) és talajkímélő művelést takarónövények alkalmazásával kombinálva (KT). A kísérletben arra kerestük a választ, hogy a fenntartható talajhasználati gyakorlatok rövidtávon kimutatnak-e változást az alkalmazott indikátorokban. A dehidrogenáz enzimaktivitást (DHA) alkalmasnak találtuk arra, hogy egy korai indikátora legyen a talajban végbemenő pozitív változásoknak, mivel szignifikáns eltérést mutatott ki a talajkezelések között. A talajkímélő művelés takarónövény alkalmazása mellett, már 2 év után megváltoztatta a talaj-minőséget a DHA aktivitás alapján, amit így érzékeny indikátornak tekintettünk. Ahhoz, hogy a talajegészségben gyors javulást érhessünk el, a két művelési technika együttes alkalmazása megfelelő módszernek bizonyult, amit a DHA aktivitás is jelzett.

Tenyészedényes kísérletben kutattuk (MATE Zöldség- és Gombatermesztési Tanszékéhez tartozó üvegház, Budai Arborétum), hogy az alkalmazott takarónövény fajok milyen hatást gyakorolnak a talaj egyes paramétereire szabályozott körülmények között rövid-távon (nyolc hét). Ennek a kutatásnak eredményeként megállapítottuk, hogy a pillangós, biológiai nitrogén-kötésre is képes lóbab és a több fajból (5) álló keverék volt a legpozitívabb hatással a talajra a biológiai aktivitás és a tápanyagviasszatartás szempontjából. Ezek a növények ezért ajánlhatók az ökológiai gazdálkodási körülmények között.

Végül egy *on-farm kutatás* keretein belül valós gazdálkodói körülmények között kutattuk a talajregeneratív módszerek hatását a mért indikátorokra, és azok beilleszthetőségét ökológiai gazdálkodásba. Az ország négy helyszínén (Kömlöd, Szár, Füzesgyarmat, Bugac) ökológiai gazdálkodóknak a különféle talajregeneratív módon kezelt tábláit vizsgáltuk és kontrollként pedig a szomszédságukban fekvő konvencionális gazdaságok tábláit mintáztuk meg. A különböző táblákon mért adatok helyszínen belül elemzett eredményei, valamint a korrelációs együtthatók segítettek feltárni az indikátorok tulajdonágait a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok és a talajtextúra szempontjából. Megállapítottuk, hogy a szervesanyag tartalmat erősen befolyásolja a talajtextúra, továbbá az más indikátorok eredményére is hatással volt. Azonban az aggregátum

stabilitásra nem volt hatással sem a talajtextúra, sem a szervesanyag tartalom, hanem inkább a talajgazdálkodási gyakorlat hatására mutatott eltérést. Ebben a kutatásban kiemeltünk három olyan táblapárost, három helyszínt, ahol az egyik táblán konvencionális szántásra alapozott talajművelés folyik a másikon pedig ökológiai gazdálkodás és kímélő talajművelés. Ennek során színesebb vetésforgót alkalmaznak, és takarónövényeket is beillesztenek a vetésforgóba a talajjavítás érdekében. Az eredményeink számos indikátorban (DHA, labilis szén) szignifikánsan pozitív különbségeket mutattak ki a talajregeneráló módszereket alkalmazó területeken már 3-5 év után. Ezek az eredmények egyedülállóak a jelenlegi szakirodalom kutatási adatai között. Ez azzal magyarázható, hogy vizsgálatunkban többféle talajregeneratív módszert egyszerre alkalmaztak az ökológiai gazdálkodók és hogy több, érzékenyebb és a talajbiológiához kapcsolódó paramétert is bevontunk a vizsgálatokba.

A dolgozatban a különböző kutatások alapján meghatároztuk a legalkalmasabb indikátorokat, amelyek képesek a talajban korán, megfelelő érzékenységgel kimutatni az ökológiai gazdálkodás és a talajregeneratív gazdálkodás hatását a konvencionális és hagyományos művelésű gazdálkodással szemben. A biológiai aktivitást mérő *dehidrogenáz*-enzim bizonyult a legjobb indikátornak, hiszen mind a három szabadföldi kutatásban képes volt kimutatni különbségeket a talajgazdálkodási módok között és a takarónövény fajok tesztelésénél is jelentős különbségeket adott. Az *aggregátum stabilitás* - amelyből a talaj másodlagos szerkezetre következtethetünk - bizonyult a másik leginkább használható indikátornak. Ezt a paramétert nem befolyásolta a talajtextúra, azonban a művelés és az ökológiai gazdálkodás hatását nagyfokú érzékenységgel mutatta. *Alabilis széntartalom* is mutatott szignifikáns eltéréseket a talajregeneratív módszerek használatát alátámasztva, azonban ennek eredményét erősen befolyásolta a közelmúltban elvégzett agrotechnikai gyakorlat így a mintavétel időpontjának meghatározása rendkívül fontos ezeknél. A tartósabb paraméterek, mint a szervesanyag mennyiség és minőség, a pH, csak olyan táblán mutattak jelentős eltérést, amely már sok éve átállt ökológiai gazdálkodásra és régebb óta alkalmaz egyéb talajregeneratív technikákat is.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

- Abdollahi, L., Munkholm, L.J., 2014. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. Chemical, mechanical, and biological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78, 262–270.
- Achankeng, E., & Cornelis, W. (2023). Conservation tillage effects on European crop yields: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 298, 108967.
- Akiyama, K., Matsuzaki, K. I., & Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435(7043), 824-827.
- Ali, S. R., Fradi, A. J., & Al-Aaraji, A. M. (2017). Effect of some physical factors on growth of five fungal species. *Eur. Acad. Res*, 2(2), 1069-1078.
- Alkorta, I., Aizpurua, A., Riga, P., Albizu, I., Amézaga, I., Garbisu, C. 2003. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. *Reviews on environmental health*. 18(1). pp. 65-73.
- Allen, D. E., Singh, B. P., & Dalal, R. C. (2011). Soil health indicators under climate change: a review of current knowledge. *Soil health and climate change*, 25-45.
- Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of sustainable agriculture*, 14(2-3), 83-151.
- Amini, S., & Asoodar, M. A. (2015). Investigation on the effect of conservation tillage on soil organic matter (SOM) and soil organic carbon (SOC): The review. *New York Science Journal*, 8(3), 15-25.
- Ángyán, J., & Menyhért, Z. (1997). Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Anton, A. 1985. A talajenzimek szerepe a talaj anyagforgalmában. *Agrokémia és talajtan*. 34(3-4).pp. 475-485.
- Anuo, C. O., Cooper, J. A., Koehler-Cole, K., Ramirez II, S., & Kaiser, M. (2023). Effect of cover cropping on soil organic matter characteristics: Insights from a five-year field experiment in Nebraska. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 347, 108393.
- Arias, M. E., González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., & Ball, A. S. (2005). Soil health: A new challenge for microbiologists and chemists. *International microbiology*, 8(1), 13-21.
- Aulakh, C. S., Sharma, S., Thakur, M., & Kaur, P. (2022). A review of the influences of organic farming on soil quality, crop productivity and produce quality. *Journal of Plant Nutrition*, 45(12), 1884-1905.
- Avio, L., Castaldini, M., Fabiani, A., Bedini, S., Sbrana, C., Turrini, A., & Giovannetti, M. (2013). Impact of nitrogen fertilization and soil tillage on arbuscular mycorrhizal fungal communities in a Mediterranean agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 285-294.
- Bádonyi, K. (2006). A hagyományos és a kémelő talajművelés hatása a talajerózióra és az élővilágra. *Tájökológiai lapok*, 4(1), 1-16.
- Badri, D. V., & Vivanco, J. M. (2009). Regulation and function of root exudates. *Plant, cell & environment*, 32(6), 666-681.
- Baeumer, K., & Bakermans, W. A. P. (1974). Zero-tillage. *Advances in agronomy*, 25, 77-123.

- Bailey, V. L., Smith, J. L., & Bolton Jr, H. (2002). Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(7), 997-1007.
- Bais, H. P., Broeckling, C. D., & Vivanco, J. M. (2008). Root exudates modulate plant—microbe interactions in the rhizosphere. In *Secondary metabolites in soil ecology* (pp. 241-252). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Baldwin, K. R., & Creamer, N. G. (2006). Cover crops for organic farms. *North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, NC*.
- Balík, J., Kulháněk, M., Černý, J., Sedlář, O., Suran, P., & Asrade, D. A. (2022). The influence of organic and mineral fertilizers on the quality of soil organic matter and glomalin content. *Agronomy*, 12(6), 1375.
- Barberi, P., Sukkel, W., & Huiting, H. F. (2014). Reduced tillage and cover crops in organic arable systems preserves weed diversity without jeopardising crop yield. In *Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference 'Building Organic Bridges', at the Organic World Congress 2014* (pp. 765-768).
- Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.
- Barel, J. M., Kuyper, T. W., de Boer, W., Douma, J. C., & De Deyn, G. B. (2018). Legacy effects of diversity in space and time driven by winter cover crop biomass and nitrogen concentration. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 299-310.
- Barrios E.: 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological economics*, 64(2), pp 269-28
- Belopukhov, S. L., Grigoryeva, M. V., Bagnavets, N. L., Osipova, A. V., & Rybkin, I. D. (2023). The influence of agrotechnologies of organic farming on the content of humus, phosphorus and potassium in the soil. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e275585.
- Benbi, D. K., Sharma, S., Toor, A. S., Brar, K., Sodhi, G. P. S., & Garg, A. K. (2018). Differences in soil organic carbon pools and biological activity between organic and conventionally managed rice-wheat fields. *Organic agriculture*, 8, 1-14.
- Bencsik, K. (2009). Talajhasználati módszerek értékelése talajvédelmi szempontból, Doktori (PhD) értekezés, Gödöllő
- Berkelmans, R., Ferris, H., Tenuta, M., & Van Bruggen, A. H. C. (2003). Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 23(3), 223-235.
- Berner, A., Hildermann, I., Fliessbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., & Mäder, P. (2008). Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101(1-2), 89-96.
- Bhattacharyya, P. N., - Jha, D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350.
- Birkás, M. (2006) Földművelés és földhasználat. Mezőgazda kiadó. Budapest
- Bizottság 889/2008/EK rendelete.

- Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. *Geoderma*, 326, 164-200.
- Blanco-Canqui, H., 2011. Does no-till farming induce water repellency to soils? *Soil Use Manag.* 27, 2–9.
- Blesh, J. (2018). Functional traits in cover crop mixtures: Biological nitrogen fixation and multifunctionality. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 38-48.
- Bobul'ská, L., Fazekášová, D., Angelovičová, L., & Kotorová, D. (2015). Impact of ecological and conventional farming systems on chemical and biological soil quality indices in a cold mountain climate in Slovakia. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 205-218.
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., Kunhikrishnan, A., James, T., McDowell, R., & Senesi, N. (2011). Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. *Advances in agronomy*, 110, 1-75.
- Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., ... & de Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, 99, 38-50.
- Bortolini, J. G., Soares, C. R. F. S., Muller, M. J., Ferreira, G. W., Meyer, E., Vieira, C. K., ... & Comin, J. J. (2021). Soil carbon, glomalin, and aggregation in onion crop under no-tillage with cover crops or conventional tillage systems for eight years. *J. Agric. Stud*, 9, 130-150.
- Bowles, T. M., Jackson, L. E., Loeher, M., & Cavagnaro, T. R. (2017). Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1785-1793.
- Broeckling, C. D., Broz, A. K., Bergelson, J., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2008). Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and environmental microbiology*, 74(3), 738-744.
- Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3(2), 119-129.
- Camarotto, C., Piccoli, I., Dal Ferro, N., Polese, R., Chiarini, F., Furlan, L., & Morari, F. (2020). Have we reached the turning point? Looking for evidence of SOC increase under conservation agriculture and cover crop practices. *European Journal of Soil Science*, 71(6), 1050-1063.
- Canali, S., Diacono, M., Campanelli, G., & Montemurro, F. (2015). Organic no-till with roller crimpers: Agro-ecosystem services and applications in organic Mediterranean vegetable productions. *Sustainable Agriculture Research*, 4(3).
- Cappelli, S. L., Domeignoz-Horta, L. A., Loaiza, V., & Laine, A. L. (2022). Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends in Plant Science*, 27(7), 674-687.
- Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., García-Tejero, I. F., Gálvez Ruiz, B., & Cuadros Tavira, S. (2022). Conservation agriculture as a sustainable system for soil health: A review. *Soil Systems*, 6(4), 87.
- 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.

Chantigny, M. H. (2003). Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*, 113(3-4), 357-380.

Chapagain, T., Lee, E. A., & Raizada, M. N. (2020). The potential of multi-species mixtures to diversify cover crop benefits. *Sustainability*, 12(5), 2058.

Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100533.

Chavarría, D. N., Verdenelli, R. A., Serri, D. L., Restovich, S. B., Andriulo, A. E., Meriles, J. M., & Vargas-Gil, S. (2016). Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European journal of soil biology*, 76, 74-82.

Chen, H., Dai, Z., Veach, A. M., Zheng, J., Xu, J., & Schadt, C. W. (2020). Global meta-analyses show that conservation tillage practices promote soil fungal and bacterial biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 293, 106841.

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.

Cong, W. F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Sun, J. H., Bao, X. G., ... & Van Der Werf, W. (2015). Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global change biology*, 21(4), 1715-1726.

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.

Cordeau, S., Guillemin, J. P., Reibel, C., & Chauvel, B. (2015). Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Annals of Applied Biology*, 166(3), 444-455.

Crystal-Ornelas, R., Thapa, R., & Tully, K. L. (2021). Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 312, 107356.

D'Acunto, L., Andrade, J. F., Poggio, S. L., & Semmartin, M. (2018). Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. *Agriculture, ecosystems & environment*, 257, 159-164.

Dabney, S. M., Delgado, J. A., & Reeves, D. W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8), 1221-1250.

Darnhofer, I., Lindenthal, T., Bartel-Kratochvil, R., & Zollitsch, W. (2010). Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30, 67-81.

Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P. A., & Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357-373.

Das, A., Ahmed, N., Purakayastha, T. J., Biswas, S., Ray, P., Singh, B., ... & Lama, A. (2023). Impact of conservation agriculture on humic acid quality and clay humus complexation under maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*)-wheat cropping systems. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(9), 1013-1018.

- Datta, A., Choudhury, M., Sharma, P. C., Jat, H. S., Jat, M. L., & Kar, S. (2022). Stability of humic acid carbon under conservation agriculture practices. *Soil and Tillage Research*, 216, 105240.
- De Notaris, C., Rasmussen, J., Sørensen, P., & Olesen, J. E. (2018). Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 255, 1-11.
- Derpsch, R. (2003). Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In *Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy* (pp. 181-190). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Drinkwater, L. E. (2002). Cropping systems research: Reconsidering agricultural experimental approaches. *HortTechnology*, 12(3), 355-361.
- Dunai, A., & Tóth, Z. (2015). Szerves-és műtrágyázás tartamhatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon. *Agrokémia és Talajtan*, 64(1), 29-52.
- Emmerling, C. (2007). Reduced and conservation tillage effects on soil ecological properties in an organic farming system. *Biological Agriculture & Horticulture*, 24(4), 363-377.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in soil science and plant analysis*, 36(19-20), 2733-2757.
- Farmaha, B. S., Sekaran, U., & Franzluebbers, A. J. (2022). Cover cropping and conservation tillage improve soil health in the southeastern United States. *Agronomy Journal*, 114(1), 296-316.
- Fazekas Gy., Szerényi G. 2015. Biológia. Molekulák, élőlények, életműködések. I. Kötet. Harmadik, javított kiadás. Budapest. Scolar Kiadó. pp. 87-90.
- Fehér D. 1954. Talajbiológia. Budapest. Akadémiai Kiadó.
- Feng, H., Sekaran, U., Wang, T., & Kumar, S. (2021). On-farm assessment of cover cropping effects on soil C and N pools, enzyme activities, and microbial community structure. *The Journal of Agricultural Science*, 159(3-4), 216-226.
- Ferris, H. (2010). Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *European Journal of Soil Biology*, 46(2), 97-104.
- Finney, D. M., & Kaye, J. P. (2017). Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 509-517.
- Fiscus, D. A., & Neher, D. A. (2002). Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological applications*, 12(2), 565-575.
- Fließbach, A., Oberholzer, H. R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 273-284.
- 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.
- Flynn, K. D., Bagnall, D. K., & Morgan, C. L. (2020). Evaluation of SLAKES, a smartphone application for quantifying aggregate stability, in high-clay soils. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 345-353.
- Frey, S. D. (2019). Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 50(1), 237-259.

Fuentes-Llanillo, R., Telles, T. S., Junior, D. S., de Melo, T. R., Friedrich, T., & Kassam, A. (2021). Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, 208, 104877.

Fülekgy Gy. 2011. 3. kötet. Talajvédelem, talajtan. In: Domokos E.(szerk) Környezetmérnöki tudástár 3. kötet. Veszprém. Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet. Az anyag a HEFOP 3.3.1-P.-2004-0900152/1.0 téma keretében készült a Pannon Egyetemen.

Galantini J A, Duval M E, Iglesias J O and Kruger H. 2014. Continuous wheat in semiarid regions: Long-term effects on stock and quality of soil organic carbon. *Soil Science* 179(6): 284–92.

Gałązka, A., Gawryjolek, K., Grządziel, J., & Księżak, J. (2017). Effect of different agricultural management practices on soil biological parameters including glomalin fraction.

Garbeva, P. V., Van Veen, J. A., & Van Elsas, J. D. (2004). Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42(1), 243-270.

Garcia, C., Hernandez, T., & Costa, F. (1997). Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 28(1-2), 123-134.

García-González, I., Martínez-García, L. B., Barel, J. M., Martens, H., Snoek, L. B., Hontoria, C., & De Deyn, G. B. (2023). Cover crop identity determines root fungal community and arbuscular mycorrhiza colonization in following main crops. *European Journal of Soil Science*, 74(6), e13427.

Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., ... & Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226-18231.

Ghosh, A., Bhattacharyya, R., Meena, M. C., Dwivedi, B. S., Singh, G., Agnihotri, R., & Sharma, C. (2018). Long-term fertilization effects on soil organic carbon sequestration in an Inceptisol. *Soil and Tillage Research*, 177, 134-144.

Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519-530.

Giovannetti, M., Avio, L., Barale, R., Ceccarelli, N., Cristofani, R., Iezzi, A., ... & Scarpato, R. (2012). Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants. *British Journal of Nutrition*, 107(2), 242-251.

Gyuricza Cs. 2014. A talaj- és környezetminőség javítása és fenntartása növénytermesztési módszerekkel. MTA doktori értekezés tézisei. Gödöllő.

Haddad, M. J., & Sarkar, D. (2003). Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: Part II Relationship with soil properties. *Environmental Geosciences*, 10(3), 99-106.

Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., ... & Isberg, P. E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6, 1-48.

Hansen, E. M., & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil and Tillage research*, 41(3-4), 203-219.

HARGITAI L. (1988): A talaj szerves anyagának meghatározása és jellemzése. In: BUZÁS I. (szerk.): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv II. kötet, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 151-173.

Hargitai L. 1963. Humuszanyagok minőségének vizsgálata ultraibolya spektrumaik alapján. MTA Agrártudományok Osztálya Közleményei, 22, pp. 225-240.

Hargitai L. 1963. Quality assessment of humic substances based on their ultraviolet spectra. MTA Agrártudományok Osztálya Közleményei, 22, pp. 225-240. (in Hungarian)

Haruna, S. I., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Phillips, N. C., Cui, S., & Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: a review. *Agrosyst Geosci Environ* 3: e20105.

Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Adv Agron*, 5, 221-268.

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.

Houlbrooke, D. J., Paton, R. J., Morton, J. D., & Littlejohn, R. P. (2009). Soil quality and plant yield under dryland and irrigated winter forage crops grazed by sheep or cattle. *Soil Research*, 47(5), 470-477.

Hudson, B. D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of soil and water conservation*, 49(2), 189-194.

Ingham, R. E., Trofymow, J. A., Ingham, E. R., & Coleman, D. C. (1985). Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological monographs*, 55(1), 119-140.

Ito, T., Araki, M., Komatsuzaki, M., Kaneko, N., & Ohta, H. (2015). Soil nematode community structure affected by tillage systems and cover crop managements in organic soybean production. *Applied Soil Ecology*, 86, 137-147.

Jaggi, V., Joshi, S., Dasila, H., Mahapatra, B. S., & Sahgal, M. (2018). Evaluation of soil health in short term organic vs conventional practices during paddy cultivation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 495-504.

Janušauskaite, D., Kadžienė, G., & Auškalnienė, O. (2013). The effect of tillage system on soil microbiota in relation to soil structure. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5).

Jenkinson, D. S. 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329(1255). pp. 361–368.

Jones, E. J., Filippi, P., Wittig, R., Fajardo, M., Pino, V., & McBratney, A. B. (2020). Mapping soil slaking index and assessing the impact of management in a mixed agricultural landscape. *SOIL Discussions*, 2020, 1-22.

Juhos, K., Nugroho, P. A., Jakab, G., Prettl, N., Kotroczó, 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.

- Kabir, Z. (2005). Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), 23-29.
- Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., & Kienzle, J. (2015). Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, 8.
- Kátai J. 2011. Talajökológia. Debreceni Egyetem. Nyugat-Magyarországi Egyetem. Pannon Egyetem. TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0010 projekt.
- Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37, 1-17.
- Kemenes E. 1959. Talajerőgazdálkodás. Budapest. Akadémiai Kiadó. pp.21-102.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 425-442.
- Kertész, Á., & Madarász, B. (2014). Conservation agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 91-96.
- Khan, M. S., Zaidi A., Musarrat, J., 2009, Microbial Strategies for Crop Improvement, Springer Berlin Heidelberg
- Khan, S. A., Mulvaney, R. L., Ellsworth, T. R., & Boast, C. W. (2007). The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *Journal of environmental quality*, 36(6), 1821-1832.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685-701.
- Kim, N., Zabaloy, M. C., Guan, K., & Villamil, M. B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107701.
- Kim, N., Zabaloy, M. C., Guan, K., & Villamil, M. B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107701.
- Király G. (szerk.) 2009. Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság. Jósvafő.
- Kirchmann, H., Thorvaldsson, G., Bergström, L., Gerzabek, M., Andrén, O., Eriksson, L. O., & Winninge, M. (2008). Fundamentals of organic agriculture—Past and present. *Organic crop production—ambitions and limitations*, 13-37.
- Kiss, K., Szalai, Z., Jakab, G., Madarász, B., & Zboray, N. (2014). Characterization of soil organic substances by UV-Vis spectrophotometry in some soils of Hungary. *Soil Carbon*, 127-136.
- 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.
- Krauss, M., Wiesmeier, M., Don, A., Cuperus, F., Gattinger, A., Gruber, S., ... & Steffens, M. (2022). Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.
- Kreybig, L. (1951). Gyakorlati trágyázástan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Kumar, A., Dorodnikov, M., Splettstößer, T., Kuzyakov, Y., & Pausch, J. (2017). Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. *Geoderma*, 306, 50-57.

- Kumar, A., Panda, A., Srivastava, L. K., & Mishra, V. N. (2017). Effect of conservation tillage on biological activity in soil and crop productivity under rainfed Vertisols of central India. *Int. J. Chem. Stud*, 5(6), 1939-1946.
- Kumar, S., Meena, R. S., Lal, R., Singh Yadav, G., Mitran, T., Meena, B. L., ... & EL-Sabagh, A. (2018). Role of legumes in soil carbon sequestration. *Legumes for soil health and sustainable management*, 109-138.
- Kwiatkowski, C. A., Harasim, E., Feledyn-Szewczyk, B., & Antonkiewicz, J. (2020). Enzymatic activity of loess soil in organic and conventional farming systems. *Agriculture*, 10(4), 135.
- Laflen, J. M., Baker, J. L., Hartwig, R. O., Buchele, W. F., & Johnson, H. P. (1978). Soil and water loss from conservation tillage systems. *Transactions of the ASAE*, 21(5), 881-0885.
- Layek, J., Das, A., Mitran, T., Nath, C., Meena, R. S., Yadav, G. S., ... & Lal, R. (2018). Cereal+ legume intercropping: An option for improving productivity and sustaining soil health. *Legumes for soil health and sustainable management*, 347-386.
- Lee, J. E., & Eom, A. H. (2009). Effect of organic farming on spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil. *Mycobiology*, 37(4), 272-276.
- Lehmann, A., Zheng, W., & Rillig, M. C. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1828-1835.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
- Lenz, R., & Eisenbeis, G. (2000). Short-term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode community structure. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 237-244.
- Li, Y., Zhang, Q., Cai, Y., Yang, Q., & Chang, S. X. (2020). Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. *Science of the Total Environment*, 716, 137164.
- Li, Y., Zhang, Q., Cai, Y., Yang, Q., & Chang, S. X. (2020). Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. *Science of the Total Environment*, 716, 137164.
- Liebig, M. A., & Doran, J. W. (1999). *Impact of organic production practices on soil quality indicators* (Vol. 28, No. 5, pp. 1601-1609). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Liebman. (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed research*, 40(1), 27-47.
- 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.
- Long, S. R. (2001). Genes and signals in the Rhizobium-legume symbiosis. *Plant physiology*, 125(1), 69-72.
- Lowenfels, J., Lewis, W. 2010. *Teaming with Microbes*. Portland, Oregon. Timber Press.
- Madarász, B., Juhos, K., Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Benke, S., Jakab, G., & Szalai, Z. (2016). Conservation tillage vs. conventional tillage: long-term effects on yields in continental, sub-humid Central Europe, Hungary. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(4), 408-427.

- Mader, P. D., Hahn, D. Dubois, L. Gunst, T. Alfoldi, H. Bergmann, M. Oehme, R. Amad € o, H. Schneider, U. Graf, et al. 2007. Wheat quality in organic and conventional farming: Results of a 21 year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 (10):1826–35. doi: 10.1002/jsfa.2866.
- Mäder, P., & Berner, A. (2012). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 7-11.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694-1697.
- Maltais-Landry, G. (2015). *Legumes have a greater effect on rhizosphere properties (pH, organic acids and enzyme activity) but a smaller impact on soil P compared to other cover crops*. *Plant and Soil*, 394(1-2), 139–154. doi:10.1007/s11104-015-2518-1
- Mangalassery, S., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Fraser, W. T., & Sjögersten, S. (2015). Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. *European Journal of Soil Biology*, 68, 9-17.
- Manning, J. V., & Fenster, C. R. (1983). What is conservation tillage? *Journal of Soil and Water Conservation*, 38(3), 140-143.
- Manninger G. A. 1957. A talaj sekély művelése. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó.
- Maron, J. L., Marler, M., Klironomos, J. N., & Cleveland, C. C. (2011). Soil fungal pathogens and the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology letters*, 14(1), 36-41.
- Masilionyte, L., Maiksteniene, S., Kriauciuniene, Z., Jablonskyte-Rasce, D., Zou, L., & Sarauskis, E. (2017). Effect of cover crops in smothering weeds and volunteer plants in alternative farming systems. *Crop Protection*, 91, 74-81.
- Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R., & Balkcom, K. S. (2012). Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012(1), 548620.
- McDaniel, M. D., Tiemann, L. K., & Grandy, A. S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24(3), 560-570.
- Meena, R. S., Das, A., Yadav, G. S., & Lal, R. (Eds.). (2018). Legumes for soil health and sustainable management.
- Mendoza, R. B., Franti, T. G., Doran, J. W., Powers, T. O., & Zanner, C. W. (2008). Tillage effects on soil quality indicators and nematode abundance in Loessial soil under long-term no-till production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(13-14), 2169-2190.
- Meyer, N., Bergez, J. E., Constantin, J., Belleville, P., & Justes, E. (2020). Cover crops reduce drainage but not always soil water content due to interactions between rainfall distribution and management. *Agricultural Water Management*, 231, 105998.
- Miner, G. L., Delgado, J. A., Ippolito, J. A., & Stewart, C. E. (2020). Soil health management practices and crop productivity. *Agricultural & Environmental Letters*, 5(1), e20023.
- Moebius-Clune, B. N. (2016). *Comprehensive assessment of soil health: The Cornell framework manual*. Cornell University.

- Mondelaers, K., Aertsens, J., & Van Huylenbroeck, G. (2009). A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British food journal*, 111(10), 1098-1119
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272.
- Montgomery, D. R., & Biklé, A. (2021). Soil health and nutrient density: beyond organic vs. conventional farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 417.
- Moraru, P. I., & Rusu, T. (2010). Soil tillage conservation and its effect on soil organic matter, water management and carbon sequestration. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3-4), 309-312.
- Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of nematology*, 33(4), 161.
- Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 577723.
- Nicol, R. W., Yousef, L., Traquair, J. A., & Bernards, M. A. (2003). Ginsenosides stimulate the growth of soilborne pathogens of American ginseng. *Phytochemistry*, 64(1), 257-264.
- Nielsen, U. N., Wall, D. H., & Six, J. (2015). Soil biodiversity and the environment. *Annual review of environment and resources*, 40(1), 63-90.
- Njeru, E. M., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., Bocci, G., Bàrberi, P., & Giovannetti, M. (2014). First evidence for a major cover crop effect on arbuscular mycorrhizal fungi and organic maize growth. *Agronomy for sustainable Development*, 34, 841-848.
- Njira, K. O. W., & Nabwami, J. (2013). Soil management practices that improve soil health: Elucidating their implications on biological indicators. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 18(2), 2750-2760.
- Nugroho, P. A., Juhos, K., Prettl, N., Madarász, B., & Kotrocó, Z. (2023). Long-term conservation tillage results in a more balanced soil microbiological activity and higher nutrient supply capacity. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3), 528-537.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., Veum, K. S., Moorman, T. B., & Cambardella, C. A. (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, 369, 114335.
- Oades, J. M. (1993). The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. In *Soil structure/soil biota interrelationships* (pp. 377-400). Elsevier.
- Olson, K., Ebelhar, S. A., & Lang, J. M. (2014). Long-term effects of cover crops on crop yields, soil organic carbon stocks and sequestration. *Open Journal of Soil Science*, 2014.
- Panettieri, M., Berns, A. E., Knicker, H., Murillo, J. M., & Madejón, E. (2015). Evaluation of seasonal variability of soil biogeochemical properties in aggregate-size fractionated soil under different tillages. *Soil and Tillage Research*, 151, 39-49.
- Peigné, J., Ball, B. C., Roger-Estrade, J., & David, C. J. S. U. (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil use and management*, 23(2), 129-144.

- Peigné, J., Cannavaciolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J. L., & Cluzeau, D. (2009). Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 207-214.
- Peigné, J., Casagrande, M., Payet, V., David, C., Sans, F. X., Blanco-Moreno, J. M., ... & Mäder, P. (2016). How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 31(1), 72-85.
- Peluchon, M., Michot, D., Lemerrier, B., Busnot, S., Morvan, T., Fajardo, M., ... & Saby, N. (2021, April). Evaluation of SLAKES, a smartphone application for quantifying aggregate stability, in soils with contrasting managements. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-14858).
- Peralta, A. L., Sun, Y., McDaniel, M. D., & Lennon, J. T. (2018). Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. *Ecosphere*, 9(5), e02235
- 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.
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linquist, B. A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., ... & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365-368.
- Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., De Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141396.
- Powlson, D. S., Prookes, P. C., Christensen, B. T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil biology and biochemistry*. 19(2). pp. 159-164.
- 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.
- Radics L. (szerk). 2007. Ökológiai gazdálkodás II. Budapest. Szaktudás Kiadó Ház.
- Raghavendra, M., Sharma, M. P., Ramesh, A., Richa, A., Billore, S. D., & Verma, R. K. (2020). Soil health indicators: Methods and applications. *Soil Analysis: Recent Trends and Applications*, 221-253.
- Rakkar, M. K., & Blanco-Canqui, H. (2018). Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 71-90.
- Rakkar, M. K., Blanco-Canqui, H., Drijber, R. A., Drewnoski, M. E., MacDonald, J. C., & Klopfenstein, T. (2017). Impacts of cattle grazing of corn residues on soil properties after 16 years. *Soil Science Society of America Journal*, 81(2), 414-424.
- Rani, K., Sharma, P., Kumar, S., Wati, L., Kumar, R., Gurjar, D. S., ... & Kumar, R. (2019). Legumes for sustainable soil and crop management. *Sustainable management of soil and environment*, 193-215.
- Rátonyi, T. (2007). Hagyományos és a talajkímélő termeszéstechnológiai rendszerek talaj fizikai állapotára gyakorolt hatásának értékelése= Effects of conventional and conservation tillage systems on soil physical status. *OTKA Kutatási Jelentések| OTKA Research Reports*.

- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64.
- Reicosky, D. C. (2015). Conservation tillage is not conservation agriculture. *Journal of Soil and water conservation*, 70(5), 103A-108A.
- 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.
- Rieke, E. L., Bagnall, D. K., Morgan, C. L., Flynn, K. D., Howe, J. A., Greub, K. L., ... & Honeycutt, C. W. (2022). Evaluation of aggregate stability methods for soil health. *Geoderma*, 428, 116156.
- Rohyadi, A., Smith, F. A., Murray, R. S., & Smith, S. E. (2004). Effects of pH on mycorrhizal colonisation and nutrient uptake in cowpea under conditions that minimise confounding effects of elevated available aluminium. *Plant and Soil*, 260, 283-290.
- Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., & Caravaca, F. (2005). Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology*, 30(1), 11-20.
- Roscher, C., Fergus, A. J., Petermann, J. S., Buchmann, N., Schmid, B., & Schulze, E. D. (2013). What happens to the sown species if a biodiversity experiment is not weeded?. *Basic and Applied Ecology*, 14(3), 187-198.
- Rosier, C. L., Hoyer, A. T., & Rillig, M. C. (2006). Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2205-2211.
- Rovira, A. D. (1969). Plant root exudates. *The botanical review*, 35, 35-57.
- Sarker, R. R., Rashid, M. H., Islam, M. A., Jahiruddin, M., Islam, K. R., & Jahangir, M. M. R. (2023). Conservation agriculture's impact on total and labile organic carbon pools in calcareous and non-calcareous floodplain soils under a sub-tropical rice-based system. *Plos one*, 18(11), e0293257.
- Schlüter, S., Großmann, C., Diel, J., Wu, G. M., Tischer, S., Deubel, A., & Rücknagel, J. (2018). Long-term effects of conventional and reduced tillage on soil structure, soil ecological and soil hydraulic properties. *Geoderma*, 332, 10-19.
- Schmidt, J. H., Hallmann, J., & Finckh, M. R. (2020). Bacterivorous nematodes correlate with soil fertility and improved crop production in an organic minimum tillage system. *Sustainability*, 12(17), 6730.
- Schnürer, J., Rosswald, T. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied Environmental Microbiology*, 43. sz, pp. 1256–1261.
- Solaiman, Z. 2007. Measurement of microbial biomass and activity in soil. In *Advanced Techniques in Soil Microbiology*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 201-211.
- Schweitzer, J. A., Bailey, J. K., Fischer, D. G., LeRoy, C. J., Lonsdorf, E. V., Whitham, T. G., & Hart, S. C. (2008). Plant–soil–microorganism interactions: heritable relationship between plant genotype and associated soil microorganisms. *Ecology*, 89(3), 773-781.
- Seitz, D., Fischer, L. M., Dechow, R., Wiesmeier, M., & Don, A. (2023). The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. *Plant and soil*, 488(1), 157-173.

- Sekaran, U., Sagar, K. L., & Kumar, S. (2021). Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 208, 104885.
- Shah, K. K., Modi, B., Pandey, H. P., Subedi, A., Aryal, G., Pandey, M., & Shrestha, J. (2021). Diversified crop rotation: an approach for sustainable agriculture production. *Advances in Agriculture*, 2021, 1-9.
- Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C. S., Brar, A. S., Grover, K. K., Dia, M., & Steiner, R. L. (2018). The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—A review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9(9), 1935-1951.
- Sheibani, S., & Ahangar, A. G. (2013). Effect of tillage on soil biodiversity. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(8), 273-281.
- Sheoran, H. S., Kakar, R., & Kumar, N. (2019). Impact of organic and conventional farming practices on soil quality: A global review. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(1).
- 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.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, 79(1), 7-31.
- Six, J., E.T. Elliott and K. Paustian. 2000a. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099-2103. doi:10.1016/S0038-0717(00)00179-6.
- Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K. (1999). Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1350-1358.
- Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott and C. Combrink. 2000b. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:681-689.
- Smith, D. H., Moore, V. M., Ruark, M., & Silva, E. (2019). *Interseeding cover crops in row-cultivated corn*. University of Wisconsin--Madison Division of Extension.
- Snapp, S. S., Swinton, S. M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J. R., Leep, R., ... & O'neil, K. (2005). Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy journal*, 97(1), 322-332.
- Solaiman, Z. (2007). Measurement of microbial biomass and activity in soil. In *Advanced techniques in soil microbiology* (pp. 201-211). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Stefanovits P. 1992. Talajtan. Budapest. Mezőgazda Kiadó.
- Stevenson, F. J. (1965). Origin and distribution of nitrogen in soil. *Soil nitrogen*, 10, 1-42.
- Stott, D. E. (2019). Recommended soil health indicators and associated laboratory procedures. *Soil Health Technical Note*, (450-03).
- Szili-Kovács T., Kátai J., Takács T. 2011. Mikrobiológiai indikátorok alkalmazása a talajminőség értékelésében Szemle. Debrecen. pp. 273-286.
- 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.

- Taboada, M. A., Rubio, G., & Chaneton, E. J. (2011). Grazing impacts on soil physical, chemical, and ecological properties in forage production systems. *Soil management: building a stable base for agriculture*, 301-320.
- TANG, H. L., LIU, L., WANG, L., & BA, C. J. (2009). Effect of land use type on profile distribution of glomalin. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 17(6), 1137-1142.
- Tannure, F. P., Libardi, V. da S., Izoton, K. B., Miranda, R. P., Leone, M. F., Neves, K. R., Alves, R. A., & Dobbss, L. B. (2024). Chemical evaluation and bioactivity of humic substances isolated from the mangrove ecosystem. *REVISTA DELOS*, 17(57), e1576.
<https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n57-018>
- Thalmann A. (1968): Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid. *Landwirtschaft. Forsch.* 21:249–258.
- Thapa, V. R., Ghimire, R., Acosta-Martínez, V., Marsalis, M. A., & Schipanski, M. E. (2021). Cover crop biomass and species composition affect soil microbial community structure and enzyme activities in semiarid cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 157, 103735.
- Tinker, P. B. (1984). The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Biological processes and soil fertility*, 77-91.
- Tisdall, J. M. (2020). Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In *Structure and organic matter storage in agricultural soils* (pp. 57-96). CRC Press.
- Tóth Gy, Hengl T, Hermann T, Makó A, Kocsis M, Tóth B, Berényi Üveges J (2015): Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei. JRC Technical Reports, EUR 27539 HU; doi 10.2788/673710
- Tribouillois, H., Cohan, J. P., & Justes, E. (2016). Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. *Plant and soil*, 401, 347-364.
- Tugel, A.J. - A.M. Lewandowski - D. Happe-vonArb, eds. 2000. *Soil Biology Primer*. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society
- Tyurin, I. V. 1979. K metodike analiza dlja szoversennogo izucsenyija szosztava pocsvonnogo peregnaja ili gumusza, 1951. In: Szegi J. (szerk.): *Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek*. Kecskemét. Mezőgazdasági Könyvkiadó, pp. 146-147.
- Unger, P. W., & McCalla, T. M. (1980). Conservation tillage systems. *Advances in agronomy*, 33, 1-58.
- Unger, P. W., & Vigil, M. F. (1998). Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of soil and water conservation*, 53(3), 200-207.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., & Demuzere, M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European journal of agronomy*, 33(3), 231-241.
- van Es, H. M., & Karlen, D. L. (2019). Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. *Soil Science Society of America Journal*, 83(3), 721-732.
- Vaughan, D., & Malcolm, R. E. (Eds.). (2012). *Soil organic matter and biological activity* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.

Veres Zs., Kotroczó Zs., Magyaros K., Tóth J. A., Tóthmérész B. 2013. Dehydrogenase activity in a litter manipulation experiment in temperate forest soil. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 9(1). pp. 25-33.

Veres Zs., Kotroczó Zs., Magyaros K., Tóth J.A., Tóthmérész B. (2013): Dehydrogenase Activity in a Litter Manipulation Experiment in Temperate Forest Soil. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 9: 25–33.

Viglierchio, D. R., & Schmitt, R. V. (1983). On the methodology of nematode extraction from field samples: Baermann funnel modifications. *Journal of nematology*, 15(3), 438.

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.

Vincent, J. M. (Ed.). (1982). *Nitrogen fixation in legumes* (p. 288pp).

Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R., & Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1-14.

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.

West, T.O., Post, W.M., 2002. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930. doi:10.2136/sssaj2002.1930

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.

Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., & Van der Heijden, M. G. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific reports*, 7(1), 41911.

Wolters, B. R. (2020). To Mix or Not to Mix: Performance and Management of Diverse Cover Crop Mixtures.

Worthington, V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables and grain. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* (New York, N.Y.) 7 (2):161–73.

Wright, S. F., & Anderson, R. L. (2000). Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 249-253.

Wright, S. F., Starr, J. L., & Paltineanu, I. C. (1999). Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6), 1825-1829.

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.

- Wu, S., Ingham, E. R., & Hu, D. (2002). Soil microfloral and faunal populations in an organic ecosystem in Oregon, USA. In *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science* (Vol. 5, p. 1756). Bangkok, Thailand: Queen Sirikit National Convention Centre.
- Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., & Zhao, K. (2011). Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 745-752.
- Yang, T., Siddique, K. H., & Liu, K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01118.
- Zhang, X., Wu, X., Zhang, S., Xing, Y., Wang, R., & Liang, W. (2014). Organic amendment effects on aggregate-associated organic C, microbial biomass C and glomalin in agricultural soils. *Catena*, 123, 188-194.
- Zheng, H., Liu, W., Zheng, J., Luo, Y., Li, R., Wang, H., & Qi, H. (2018). Effect of long-term tillage on soil aggregates and aggregate-associated carbon in black soil of Northeast China. *PLoS One*, 13(6), e0199523
- Zikeli, S., & Gruber, S. (2017). Reduced tillage and no-till in organic farming systems, Germany—Status quo, potentials and challenges. *Agriculture*, 7(4), 35.
- Zuber, S. M., Villamil, M. B. 2016. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*. 97. pp. 176-187.

M2.

1. melléklet. A kömlődi gazdaságok gazdálkodási naplójának kivonata a táblázatban sok kérdőjel van érdemes lenne elhagyni, vagy kitölteni az oszlopokat.

	Öko-sekély 2		Öko-sekély 1		Konv-sekély		Konv-szántott	
	műveleti múlt	kijuttatott anyag	műveleti múlt	kijuttatott anyag	műveleti múlt	kijuttatott anyag	műveleti múlt	kijuttatott anyag
2018	főnövény	őszi árpa	főnövény	-	főnövény	őszi árpa	főnövény	kukorica
	aratás	tavasszal DASA és MAS műtrágya (fejtrágya)	talajművelés		műtrágyázás (02.06)	DASA	simítózás	
	sekély talajművelés	lombtrágya	trágyázás	green active	műtrágyázás (03.12)	DASA, MAS	műtrágyázás	
	NPK trágya kijuttatás	keserűső	talajművelés		gyomfésű (03.27)		magágykészítés	
		karbamid	vetés		növényvédelem (04.13)		vetés	
		falcon pro gombaölő			aratás (06.21)		gyomirtó	
		Silwet star felületjavító			talajművelés-tarlóhántás (06.21)		sorközművelés	
		Mystic pro gombaölő			másodvetés (08.14)	bíborhere, alexandriai here, zab, facélia	betakarítás	
		Kaiso fuzárium ellen			műtrágyaszórás	NPK kervert	tarlólazítás	
2019	sekély talajművelés						őszi szántás	
	főnövény	napraforgó	főnövény	őszi búza	főnövény	napraforgó	főnövény	kukorica
	vetés		trágyázás		vetés (04.07)		simítózás	
	gyomfésű		gyomfésű		növényvédelem (04.07)		műtrágya	
	sorközművelés		alávetés 3 féle pillangós		növényvédelem (05.24.)		magágyelőkészítés	
	betakarítás		betakarítás		növényvédelem (09.02)		vetés	
	direktvetés tarlóba		alávetés felnő		aratás (09.15)		permetezés	
	búza+ 2 féle perje, 5-6 féle pillangós		kaszálás		műtrágyaszórás (08.28)		gyomirtás	
					talajművelés (09.27)		sorközművelés	
2020					vetés (09.30)		betakarítás	
					növényvédelem (10.23)	őszi árpa	tarló szárzúzása	
							őszi mélyszántás	
	főnövény	őszi búza	főnövény	napraforgó	főnövény	őszi árpa	főnövény	kukorica
	aratás (06.15.)		szárzúzás		műtrágya (02.07.)		simítózás	
	szárzúzás (08.05)		talajművelés	takarónövény bedolgozása	növényvédelem (03.12.)		műtrágyázás	
	szárzúzás (08.28)		vetés		növényvédelem (05.02)		magágyelőkészítés	
	talajmintavétel (11.13.)		sorközművelés (május 4X)		aratás (06.30)		vetés	
	talajművelés (11.18)		sorközművelés		talajművelés (06.30.)	tarlóhántás	gyomirtás	
2021	talajművelés (12.01.)		aratás (09.14.)		másodvetés	mustár zab	permetezés	
	talajművelés (12.07.)		talajművelés (09.23.)		zöldtrágya betárcsázás		sorközművelés	
			vetés (10.02.)	tönkölybúza	talajmintavétel (11.13.)		aratás	
			talajművelés (10.03.)				tarló tárcsázása	
			talajmintavétel				szántás	
							szántás	
							elmunkálás	
							műtrágya	
							talajmintavétel (11.13.)	
2021							őszibúza vetés	
	főnövény	fekete zab	főnövény	tönkölybúza	főnövény	kukorica	főnövény	őszi búza
	talajművelés (02.05)		gyomfésű		talajművelés,		gyomfésű	
	talajművelés (03.01.)		gyomfésű (ápr)		műtrágyaszórás (04.23.)	MAS	gyomfésű	
	magágyelőkészítés		talajmintavétel		magágyelőkészítés		talajmintavétel	
	vetés (03.03)	fekete zab	aratás (07.13.)		vetés (04.30.)	kukorica		
	gyomfésű (03.12.)		tarlóhántás		talajmintavétel (05.08)			
	gyomfésű (04.26.)		talajművelés		Növényvédelem (05.25.)			
	gyomfésű (05.05.)		talajművelés		növényvédelem (06.03)			
2021	talajmintavétel (05.08.)		talajművelés,		műtrágyaszórás (06.22.)	MAS		
	aratás (06.21.)		vetés (08.25.)	Bíborhere	sorközművelés (06.29.)			
	talajművelés,				aratás (10.10.)			
	talajművelés, tárcsázás				tarlóhántás (11.03.)			
	talajművelés, tárcsázás							

2. melléklet. A szári gazdaság gazdálkodási naplójának kivonata a tárgyalt táblákról.
Sárgával jelölt a talajmintavétel ideje.

	Öko-szántott		Öko-sekély		Extenzív
	műveleti múlt	kijuttatott anyag	műveleti múlt	kijuttatott anyag	műveleti múlt
2018	tárcsázás (04.12.)	vinaszórás (2t/ha)	trágyaszórás (04.09.)	vinasz 1,2t/ha	bíborhere aratás (06.04-10.)
	kombinátorozás (04.14.)	permetezés (Laser) 4X	tárcsázás (04.12.)		tárcsázás (08.01.)
	burgonya ültetés (04.16.)	permetezés Champion	kombinátorozás (04.19.)		tárcsázás (10.02.)
	gyomfésűzés	permetezés Wetcit	hengerezés (04.27.)		tritikálé vetés (10.18.)
	töltögetés	permetezés Bordóilé	napraforgó vetés		
	betakarítás (08.24.)		gyomfésű		
	tárcsázás (10.04.)		kultivátor (05.21.)		
			napraforgó aratás (09.10.)		
2019			kijuttatás (10.08)	Bactofil 1l/ha	
			kultivátor (10.09.)		
			őszi búza vetés (10.20.)		
	trágya kijuttatás (03.29.)	Green Active (321kg/ha), Guanito (600kg/ha), Patentkáli (660 kg/ha)	kijuttatás (03.27.)	Green Active N27	tritikálé aratás (07.17.)
	burgonya vetés (04.03.)		búza aratás (07.11.)		tárcsázás (09.04.)
	sorközművelés (05.07.)		tárcsázás (08.15.)		bíborhere vetés (09.)
	permetezés	laser, champion, wetcit	takarónövény vetés (10.17.)	bíborhere, facélia, pohánka, homoki zab	hengerezés
	kapálás				
2020	permetezés	laser, champion, wetcit			
	betakarítás (08.07-23.)				
	tárcsázás (03.19.)		trágyaszórás (03.22.)	marhatrágya 22t/ha	bíborhere betakarítás (06.26.)
	trágya kijuttatás (03.29.)	Green Active (321kg/ha), Guanito (600kg/ha), Patentkáli (660 kg/ha)			
	burgonya vetés (04.03.)		kultivátorozás (04.17.)		zúzás (09.03.)
	sorközművelés		tárcsázás		tarlóápolás kultivátorral (09.13.)
	permetezés 3x június-júli	rézkészítmény, laser, novodor, wetcit	kombinátorozás (04.24.)		kombinátorozás (10.29.)
	kapálás (04.25.,05.04.,05.17.)		kukorica vetés		rozs vetés (11.12.)
	betakarítás (08.07-23.)		gyomfésű		
	szántás, kombinátorozás (10.28.)		sorközművelés (05.29.)		
	mintavétel		betakarítás (11.10.)		
2021	trágya kijuttatás (11.21.)	Bio-fer natur extra, Patentkáli	mintavétel		mintavétel
	Tönke vetés (11.26.)		tarlóhántás (11.20.)		
	gyomfésűzés (03.19.04.11.)		tárcsázás (03.09.)		gyomfésű (03.19.)
	mintavétel		lucerna vetés (03.22.)		mintavétel
	árpa betakarítás (06.30.)		hengerezés (03.24.)		rozs betakarítása (07.29.)
			mintavétel		tarlóápolás (tárcsával) (09.14.)
					alapművelés (10.27.)

3. melléklet. A füzesgyarmati táblák gazdálkodási naplójának kivonata. Sárgával jelölt a talajmintavétel ideje.

Füzesgyarmat					
Öko-forgnélkül1			Öko-forgnélkül2		
időpont	művelet	növény	időpont	művelet	növény
2018.10.14	vetés	őszi búza	2017.08.19	trágyaszórás és bedolgozás tárcsával	
2018.10.15	tömörítés gyűrűshengerrel		2018.09.29	vakmagágykészítés	
2019. 07.25	Betakarítás		2018.11.09	tönköly vetés	tönkölyúza
2019. 07.30	Tarlóhántás tárcsa		2019.07.21	Betakarítás	tönkölyúza
2019. 08.11	köleses-mustár vetés szórva		2019.07.30	Tarlóhántás tárcsa	
2019.09.22	zöldtrágya bekeverés		2019.08.11	köleses-mustár vetés szórva	
2020.04.29	vetés	tavaszi zab		zöldtrágya bekeverés, magágykészítés	
2020.08.01	betakarítás	tavaszi zab	2019.09.22	vetés	
2020.08.05	tarlóhántás tárcsa		2019.10.01	vetés	repce
2020.09.01	tarlóápolás		2020.06.22	szárzúzás, majd tárcsa	repce
2020.10.05	kombinált lazítás		2020.09.01	tarlóápolás	
2020.11.15	szórva vetés - grubberrel bedolgozás	alakor	2020.10.05	kombinált lazítás	
			2020.09.25	szervesrágya szórás, bedolgozás, majd lazítás	
2020.11.26	talajmintavétel			magágykészítés+vetés egy menetben	tönkölbúza
2021.05.24	talajmintavétel		2020.10.25	egymenetben	
2021.07.29	betakarítás	alakor	2020.11.26	talajmintavétel	
			2021.05.24	talajmintavétel	
			2021.07.19	betakarítás	tönkölybúza
			2021.07.29	tarlóhántás	
			2021.08.25	tarlóápolás + zöldtrágya vetés	köles/mustár/zab
				tárcsázás, szervesanyag-bedolgozás	
			2021.10.15	bedolgozás	
			2021.10.25	magágykészítés	

4. melléklet. A bugaci táblák gazdálodási naplójának kivonata. Sárgával jelölt a talajmintavétel ideje. Sárgával jelölt a talajmintavétel ideje.

	sekély-állat		sekély1		sekély2		sekély-taknöv
2017		Gyomfésű tönkölybúza (márc.03.)	03.márc	gyomfésű somkóró (márc.03.)	04.ápr	őszi árpa hengerezés rávetés (magvas gomborka)	takarónövény, alsó borona
	03.márc	rávetés somkóró (márc.03)	03.márc	rávetés somkóró (márc.03)	30.jún	aratás őszi árpa	magágykészítés, vetés: fehér mustár
	03.márc	révetés vöröshere (márc.03)	31.máj	kaszálás (máj.31.)		árpa szalma bálázás	28.jún kaszálás
		aratás tönkölybúza		rends.-bálázás	02.júl	legeltetés racka juhval	rends-bálázás
		kaszálás					
		tarló+vöröshere+somkóró bálázás		kaszálás parlagfű		lazítás, hengerezés	tarlótáncolás tárcsával
		tárcsás vetés:zöldtrágya mustár, olajretek, homoki zab	08.aug	tarlótáncolás tárcsával		somkóró visszapergett	tarlótáncolás tárcsával
2018			08.aug	tárcsás vetés zöldtrágya: olajretek, mustár (augu)			magágyelőkészítés, kultivátor
			09.okt	zöldtrágya bedolgozás, kultivátor			vetés-hengerezés tönkölybúza
			10.okt	vetés			
		vöröshere vetés	04.ápr	gyomfésű tönkebúza	03.ápr	gyomfésűzés tönkölybúza	03.ápr gyomfésűzés tbúza
		gyomfésű vhere		gyomfésű tönkebúza	16.júl	aratás	16.júl aratás
	28.máj	kaszálás vöröshere széna	17.júl	aratás		bálázás	szalma bálázás
		bálázás		bálázás	25.júl	tarlótáncolás, tárcsázás	tarlótáncolás tárcsával
2019				zöldtrágya vetés: gomborka, olajretek, görögszéna		zöldtrágya vetés: gomborka, görögszéna, POH	zöldtrágya vetés (ind köles, olajr., négermag, pohánka,)
	30.júl	kaszálás		szárazítás parlagfű		szárazítás	31.júl szárazítás parlagfű
	08.nov	direktvetés a tarlóba tritikálé		kultivátorozás		szervestrágyaszórás	szárazítás parlagfű
				vetés-hengerezés: rozsos búkköny+ kis szőszös búkköny			zöldtrágya leforgatás kultivátorral
						leforgatás	12.szept
						vetés	07.szept
						táblaszegély vetése	vetés őszi rozs
2020	12.márc	rávetés a tritikáléra, tavaszi takarmány búkköny	11.márc	gyomfésű rozsos búkk		fésűs borona rozs	18.márc fésűs borona
		gyomfésű	12.ápr	permetezés		rávetés somkóró	28.máj őszi rozs egy részén fektető hengerezés
		permetezés	06.jún	kaszálás		aratás rozs	29.máj homoki bab dikertvetése
		kaszálás		rends.-bálázás		bálázás	23.júl maradék rész aratása
		rends.-bálázás		tárcsázás		kaszálás somkóró széna	26.aug homoki bab kaszálása
		tisztító kaszálás gyom		vetés: Mohar		rends-bálázás	tarlótáncolás
		kaszálás füveshere széna		aratás rozsos búkköny			
2021				kaszálás Mohar széna			
				tarlótáncolás az egész területen tárcsával			
				magágyelőkészítés tárcsával			
				vetés rozs			
				vetés daikon retek			
	10.febr	kultivátorozás, füves here feltörése	13.márc	gyomfésű rozs	13.márc	gyomfésűzés somkóró	12.márc takarónövény beforgatás
	31.márc	fogasolás	14.júl	aratás	13.jún	kaszálás	28.márc durum búza vetés
2022	03.ápr	tárcsázás	20.júl	rozsszalma bálázás	06.. 22.	rends.-bálázás	04.jún kaszálás
	06.márc	fogasolás	05.aug	tarlótáncolás kultivátorral	08.júl	kaszálás	15.jún lehordás
	27.ápr	tárcsázás	09.nov	mintavétel	20.júl	rends.-bálázás	23.jún kultivátorozás
	08.máj	permetezés, gomba ellen			09.aug	tisztítókaszálás	26.jún köles-gomborka vetés
	09.máj	tárcsázás, hengerezés			28.aug	kultivátorozás	27.aug kaszálás
	22.máj	vetés: szudánifű homoki zab			30.okt	vetés - réparepce	29.aug bálázás
	03.aug	kaszálás			09.nov	mintavétel	09.szept kultivátorozás
2023	09.aug	rends.-bálázás			23.nov	vetés-őszi durumbúza	23.szept rozsos búkköny vetés
	10.01-10	legeltetés szármagmaradvány			23.nov	vetés - nődik alakor	09.nov mintavétel
	09.nov	mintavétel			23.nov	Bacteriosol kijuttatás	
	08.ápr	komposzt szórás	25.márc	ásobornázás, permetezés Vulcan Start 6 bio	09.márc	gyomfésűzés alakor	05.máj mintavétel
	09.ápr	kultivátorozás	29.márc	gomborka vetés	09.márc	füves here rávetés	27.máj szőszös-rozsos búkköny kaszálás
	27.ápr	ásobornázás, permetezés bioszerrel	05.máj	mintavétel	05.máj	mintavétel	28.máj rendszerezés-bálázása
	05.máj	mintavétel	25.máj	tisztító kaszálás	28.júl	alakor aratás	08.jún szudánifű vetés
2024	10.máj	köles vetés	28.jún	kaszálás	30.júl	búzaszalma bálázás	09.aug kaszálás
	13.aug	köles aratás	05.máj	aratás	02.aug	tarlótáncolás kultivátorral	22.szept tarlótáncolás
	16.aug	köles száma bálázás	04.aug	szarvasmarha trágyaszórás	04.aug	tarlótáncolásásóboronával	29.szept rozsos búkköny vetés
	22.szept	tarlótáncolás ásóboronával	05.aug	tarlótáncolás kultivátorral	22.szept	takarónövény vetés Előd mix	
	29.szept	rozsos búkköny vetés	22.szept	tarlótáncolás ásóboronával			
			28.szept	rozsa vetés			

5. melléklet. Kérdőív a gazdáknak.

Alapadatok

összesen hány hektáron gazdálkodik?

Milyen kultúrákat termeszt?

Hány különböző táblája van?

A tábláknak eltérnek-e az adottságaik?

Ha igen, miben?

E szerint különböző módon kezelik a táblákat? (eltérő talajművelés)

Állattartás tartozik a gazdasághoz? (milyen állat, mennyi)

Ha igen, tud használni saját trágyát?

A tápanyagutánpótlásnak milyen formáját alkalmazza? (szervestrágya, műtrágya)

Kb hány tonna/hektár a trágya mennyiség, amit használ évente? (ha kell növénykultúránként)

Terméshozam az évek során javul, romlik, változó?

Több input kell-e ugyanazon termésátlaghoz, mint régen?

Átlagosan mennyi a fő kultúrnövények terméshezama?

Alkalmaz vetésforgót?

Használ növényvédőszereket? (átlagosan mennyiszor permetezik egy kultúrában)

Gyomirtót használ? (hányszor 1 évben?)

Művelés

Milyen művelési módokat alkalmaz? (tarlóhántás, alapművelés, ápolás, magágyelőkészítés, elmunkálás)

(szánt-e? ha igen milyen mélyen, milyen évszakban, milyen gyakran)

Ha ősze szánt elmunkálja-e a szántást?

Milyen mélyen műveli a talajt? (művelőeszközként) tárcsa mélysége:

Milyen munkagépei vannak, melyiket használja a legtöbbet?

A műveléseket megelőzi talajállapot felmérés (Túl nedves, túl száraz a talaj)?

A tarlókezelés hogyan történik?

Kímélő művelés/talajregeneráló módszerek

Alkalmaz valahol kímélő művelést?

Alkalmaz valahol takarónövényt?

Ha igen, érzi bármilyen hatását ezeknek a módszereknek a talaj állapotában vagy a termésátlagban (több, kevesebb?)

Művelés hatása

A művelésből ered valamilyen kár a talajban (eketalp réteg, tömörödés)?

Ha igen azt valahogyan kezeli?

Van valami talajromlási folyamat a területein? (aszály, erózió, talaj lemosódás?)

Bárminemű stratégia ezeknek a kezelésére van?

Aszály

2022 aszályos év volt, mennyi volt emiatt a veszteség a gazdaságban? (kb %-osan)

Volt olyan tábla, amit kevésbé érintett az aszály kár?

Ha igen, itt miben különbözött a talajművelés?

Tud-e arról valamit, hogy a környező gazdaságokban milyen mértékű volt a kár? Nagyobb vagy kisebb? Ha volt különbség, mit gondol, hogy miért volt?

19. táblázat. A talajparaméterek korrelációs vizsgálata a Kömlődön mért adatok korrelációs együtthatóival (R).

	H%	Hargitai	E4/E6	pH	Nedv.1	Nedv.2	ASI	POXC1	POXC2	DHA1	DHA2	EESPRG1	EESPRG2	Nemat.1	Nemat.2
Hargitai	,723**	1													
E4/E6	,719**	,547*	1												
pH	0,223	,674**	0,411	1											
Nedv.1	,874**	,657**	,748**	0,36	1										
Nedv.2	,915**	,639**	,758**	0,24	,927**	1									
ASI	0,002	0,103	-0,2	-0	-0,32	-0,293	1								
POXC1	0,409	0,453	0,442	0,26	0,384	0,454	-0,16	1							
POXC2	,608*	0,086	,502*	-0,3	,623**	,556*	-0,09	0,11	1						
DHA1	,733**	,592*	,515*	0,19	,754**	,661**	0,056	0,028	,573*	1					
DHA2	,877**	,812**	,555*	0,44	,808**	,788**	0,121	0,371	0,354	,687**	1				
EESPRG1	,752**	0,367	,497*	-0,2	,623**	,693**	-0,02	0,304	,548*	,600*	,553*	1			
EESPRG2	,895**	,543*	,750**	0,21	,887**	,917**	-0,13	0,411	,679**	,686**	,739**	,640**	1		
Nematóda1	,630*	0,321	,690**	0,01	,749**	,708**	-0,18	0,4	,722**	,665**	,566*	,633*	,691**	1	
Nematóda2	0,097	0,293	-0,01	0,09	-0,03	-0,03	0,442	0,389	-0,09	0,25	0,195	0,102	-0,018	0,345	1
Baktérium	0,213	0,317	-0,01	0,24	0,108	0,107	0,256	0,421	-0,06	0,187	0,224	0,117	0,228	0,007	,660*

A címsorban használt 1-es szám az őszi mintavételt jelzi. A címsorban használt 2-es szám az őszi mintavételt jelzi.

A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak.

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.

20. táblázat. A talajparaméterek korrelációs vizsgálata a Száron mért adatok korrelációs együtthatóival (R).

	H%	Hargitai	E4/E6	pH	Nedv.1	Nedv.2	ASI	POXC1	POXC2	DHA1	DHA2	EESPRG1	EESPRG2	Nemat.1	Nemat.2
Hargitai	,552*	1													
E4/E6	0,094	,653**	1												
pH	0,245	,684**	,610*	1											
Nedv.1	,795**	,498*	0,217	0,27	1										
Nedv.2	,767**	,707**	0,34	0,35	,835**	1									
ASI	-0,506	0,085	0,282	0,21	-0,35	0,003	1								
POXC1	0,381	0,082	0,216	0,21	,555*	0,498	-0,12	1							
POXC2	,754**	0,389	-0,08	0,3	,692**	0,456	-,606*	0,501	1						
DHA1	0,212	0,38	0,443	0,32	0,43	0,378	-0,09	,784**	0,447	1					
DHA2	,654**	,564*	0,342	0,26	,847**	,823**	0,03	0,246	0,385	0,19	1				
EESPRG1	0,503	0,348	0,216	0,36	,755**	,628*	0,03	,581*	,555*	0,309	,680**	1			
EESPRG2	,651**	0,359	-0,16	0,13	,704**	,613*	-0,38	0,205	,655**	0,006	,645**	0,384	1		
Nematóda1	-0,535	-0,141	0,097	0,2	-0,5	-0,443	,607*	-0,12	-0,38	0,198	-0,47	-0,474	-,611*	1	
Nematóda2	-0,4	0,216	0,089	0,36	-0,39	-0,166	,602*	-0,52	-0,39	-0,18	-0,22	-0,192	-0,273	,605*	1
Baktérium	-0,122	0,331	-0,02	0,3	-0,09	0,183	0,237	-0,34	-0,21	0,151	-0,2	-0,35	0,027	0,312	,771**

A címsorban használt 1-es szám az őszi mintavételt jelzi. A címsorban használt 2-es szám az őszi mintavételt jelzi.

A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak.

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.

21. táblázat. A talajparaméterek korrelációs vizsgálata a Füzesgyarmaton mért adatok korrelációs együtthatóival (R).

	H%	Hargitai	E4/E6	pH	Nedv.1	Nedv.2	ASI	POXC1	POXC2	DHA1	DHA2	EESPRG1	EESPRG2	Nemat.1
Hargitai	-,688**	1												
E4/E6	-,767**	,907**	1											
pH	-,540*	,855**	,688**	1										
Nedv.1	0,467	-,644**	-,532*	-,527*	1									
Nedv.2	,565*	-0,374	-0,48	-0,4	0,496	1								
ASI	-0,028	,526*	0,248	0,49	-0,3	0,053	1							
POXC1	0,433	-,785**	-,574*	-,561*	,728**	0,106	-,584*	1						
POXC2	0,305	-0,365	-0,39	-0	0,394	0,125	0,01	0,463	1					
DHA1	-0,15	0,39	0,208	,691**	-0,12	-0,102	0,501	-0,15	0,251	1				
DHA2	-,617*	0,506	0,425	,740**	-0,5	-0,313	0,129	-0,33	0,017	,566*	1			
EESPRG1	,601*	-,920**	-,849**	,923**	,697**	,560*	-0,47	,681**	0,26	-0,45	-,687**	1		
EESPRG2	0,537	-,822**	-,714**	,737**	,554*	0,517	-0,5	,635*	0,201	-0,35	-0,41	,785**	1	
Nematóda1	-0,038	0,332	0,142	0,52	-0,23	-0,307	0,252	-0,02	0,086	,642*	0,233	-0,338	-0,274	1
baktérium	0,163	-0,062	0,15	-0,4	0,35	0,18	-0,27	0,258	-0,38	-0,4	-,655*	0,385	0,259	-0,023

A címsorban használt 1-es szám az őszi mintavételt jelzi. A címsorban használt 2-es szám az őszi mintavételt jelzi.

A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak.

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.

22. táblázat. A talajparaméterek korrelációs vizsgálata a Bugacon mért adatok korrelációs együtthatóival (R).

	H%	Hargitai	E4/E6	pH	Nedv.1	Nedv.2	ASI	POXC1	POXC2	DHA1	DHA2	EESPR1	EESPRG2	Nemat.1
Hargitai	0,13	1												
E4/E6	-0,397	-,553*	1											
pH	-,635*	-0,358	,589*	1										
Nedv.1	-0,497	-0,282	0,438	,740**	1									
Nedv.2	-0,155	-0,434	0,452	,613*	,686*	1								
ASI	0,648	-0,606	0,103	-0,2	-0,37	0,575	1							
POXC1	-0,569	-0,109	0,124	0,54	0,523	0,351	-0,3	1						
POXC2	0,075	-0,39	0,186	0,05	0,086	,686**	0,493	0,149	1					
DHA1	-0,373	-,660*	,637*	,768**	,888**	,845**	0,249	0,349	0,244	1				
DHA2	-0,284	0,028	0,468	0,52	,824**	,796**	-0,2	0,107	0,366	,810**	1			
EESPR1	-0,462	0,482	0,369	0,44	0,237	-0,046	-0,6	0,216	-,620*	0,087	0,352	1		
EESPRG2	0,021	0,053	0,081	0,12	0,056	0,256	-0,23	-0,16	0,325	0,011	0,309	0,179	1	
Nematóda1	-0,501	-0,229	0,166	0,37	0,54	0,386	-0,25	0,224	0,232	0,567	0,485	0,031	-0,04	1
Baktérium	-0,098	-0,459	,627*	,649*	0,425	,796**	0,67	0,401	,664*	0,663	0,422	0,043	-0,022	-0,166

A

címsorban használt 1-es szám az őszi mintavételt jelzi. A címsorban használt 2-es szám az őszi mintavételt jelzi.

A pirossal jelölt adatok szignifikáns korrelációt mutatnak.

** A korreláció 0.01-es szinten szignifikáns

* A korreláció 0.05-os szinten szignifikáns.



1. ábra. A tenyészedényes kísérletben növekvő takarónövény fajok: lóbab, facélia, bíborbükköny, etióp mustár, homoki zab és keverék (saját fotó, 2020. október).



2. ábra. A szabadföldi kísérletben a takarónövény keverék (saját fotó, Soroksár, 2019. október).



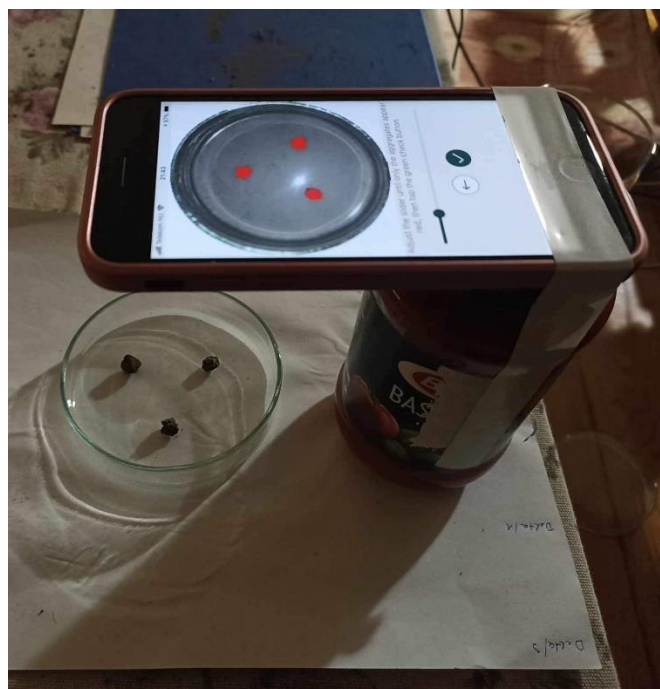
3. ábra. A szabadföldi kísérletben a takarónövény keverékből áttelelt lóbab és bíbor bükköny fajok. (saját fotó, Soroksár, 2020. április)



4. ábra. A talajmintavétel módja (balra) és a Baermann-féle tölcséres fonálféreg futtatás (jobbra) (saját fotó, 2020. november)



5. ábra. Az on-farm kísérletben szereplő kömlői Öko-sekély2 táblán megvalósított pillangós rávetés (készítette: Szabadka Péter, Kömlőd, 2019.)



6. ábra. SLAKES okostelefonos alkalmazás mérés közben.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm családomnak, hogy támogattak, legfőképp férjemnek, és szüleimnek, hogy másfél éves kislányunk mellett lehetővé tették, hogy haladjak a disszertáció írásával. Köszönöm továbbá a témavezetőimnek Dr. Szalai Zitának és Dr. Bíró Borbálának, hogy segítettek és támogattak az utolsó pillanatokig. Köszönöm a tanszéki munkatársaknak a sok segítséget. Csambalik Lászlónak, hogy a publikációs tevékenységemben segített, Kotroczó Zsoltnak a laboratóriumi munkákban nyújtott segítségét és azt, hogy bármikor bármivel fordulhattam hozzá. Köszönöm Juhos Katának a segítséget a publikációs tevékenységben és hogy a tudományos gondoltataimat megoszthattam vele. Köszönöm Ferschl Barabrának, hogy a rövidtávú szabadföldi kísérletben erején felül támogatott és segített. Köszönöm Berényi Üveges Juditnak, hogy az on-farm kísérlet során a talajmintázásban segítségemre volt. Köszönöm a szakdolgozóimnak Lőkös Liviának, Varga Borbálának és Kósa Bernadettnek, akik segítettek a mintavételezésben, a laboratóriumi vizsgálatokban és az adatok feldolgozásában is. Köszönöm Ladányi Mártának, Huszárszki Szilviának a Random-forest statisztikai elemzés elvégzését. Köszönöm a gazdálkodóknak, akik részt vettek a kutatásban és az interjúkkal is hozzájárultak az eredményekhez.