

DEHIDROGENÁZ ENZIMAKTIVITÁS, MINT A TALAJKÍMÉLŐ MŰVELÉS ÉS TAKARÓNÖVÉNY ALKALMAZÁS HATÁSÁNAK KORAI INDIKÁTORA

DEHYDROGENASE ENZYME ACTIVITY AS AN EARLY INDICATOR FOR THE EFFECT OF CONSERVATION TILLAGE AND COVER CROP APPLICATIONS

TÓTH ESZTER – FERSCHL BARBARA – SUNDOSS KABALAN – JUHOS KATALIN – KOTROCZÓ ZSOLT – BIRÓ BORBÁLA – SZALAI ZITA
kotroczo.zsolt@gmail.com

Összefoglalás

Az ökológiai gazdálkodás pozitív hatását a talaj termékenységére számos kutatás igazolta. További javulás érhető el a talajegészségében, ha az ökológiai gazdálkodásban a talajművelés minimalizálása és a talaj folyamatos növényi borítottsága is hangsúlyos célként fogalmazódik meg. A hagyományos talajvizsgálatok elsősorban a talaj kémiai tulajdonságait, a tápanyag-ellátottságát vizsgálják és figyelmen kívül hagyják a talajt, mint olyan élő rendszert, ami hozzájárul a növény folyamatos táplálásához, egészséges fejlődéséhez, meghatározva a termés beltartalmi és táplálkozás élettani tulajdonságait is. Jelen kutatás a forgatás nélküli művelés és a takarónövények alkalmazásának rövidtávú hatását vizsgálja néhány talajbiológiai tulajdonság változására. Teszteltük a talajok dehidrogenáz (DHA) és fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolízissel kimutatható enzimaktivitását, továbbá a mikorrhiza gombák glomalinnal összefüggő talajfehérjéinek könnyen kinyerhető formáját. A három évig tartó ökológiai gazdálkodási kísérletben egy hagyományos szántásra alapozott művelést (SZ) hasonlítottunk össze forgatás nélküli műveléssel (K) és azt kiegészítve takarónövények alkalmazásával (KT). A talajok biológiai tulajdonságai közül a DHA enzim aktivitásban találtunk szignifikáns különbséget a KT kezelésben (+47,4%). Az FDA enzim aktivitásban, a tápanyag tartalomban (NPK), a glomalin tartalomban (EEGRSP) két év alatt még nem volt kimutatható változás a különböző talajkezelések között. A változatos összetételű takarónövény-keverék már rövidtávon is kifejtette hatását a DHA enzimaktivitáson keresztül. Az eredmények a talajegészség módszerek összehangolt, következetes és kombinált alkalmazásának a szükségességét is alátámasztották.

Kulcsszavak: talajbiológia, ökológiai gazdálkodás, kímélő művelés, takarónövények, enzimaktivitás, glomalin, FDA

Abstract

The positive effect of organic farming on soil fertility has been confirmed by numerous studies. Further improvement in soil health can be reached if the minimization of soil cultivation and the continuous vegetation cover of the soil are formulated as an important goal in organic farming. Traditional soil tests primarily examine the soil's chemical properties and nutrient availability, and ignore the soil as a living system that contributes to the plant's continuous

nutrition and healthy development, determining the crop's internal content and nutritional physiological properties. The present research examines the short-term effect of no-rotation cultivation and the use of cover crops on changes in some soil biological properties. We tested the dehydrogenase (DHA) and fluorescein diacetate (FDA) enzyme activity of soils, as well as the easily extractable form of glomalin-related soil proteins of mycorrhizal fungi. In the three-year organic farming experiment, a cultivation based on traditional plowing (SZ) was compared with cultivation without rotation (K) and supplemented with the use of cover crops (KT). Among the biological properties of the soils, we found a significant difference in the DHA enzyme activity in the KT treatment (+47.4%). In the case of FDA enzyme activity, nutrient assays, and glomalin content (EEGRSP) 2 years wasn't enough for detecting change according to the treatments. The mixture of cover plants with a diverse composition showed its effect even in the short term through enzyme activity. The results also supported the need for coordinated, consistent and combined application of soil health methods.

Keywords: soil biology, organic farming, conservation tillage, cover crops, enzyme activity, glomalin, FDA

Bevezetés

Számos kutatás igazolta, hogy az ökológia gazdálkodás növeli a talaj termékenységet (LIEBIG - DORAN, 1999; MÄDER - BERNER, 2012). Az ökológiai gazdálkodás gyakorlatai növelik a talaj biológiai aktivitását a szervesstrágyázás, a diverz vetésforgó és a pillangós növények beillesztése által (AULAKH et al., 2022). Egy friss kutatás szerint az ökológiai agrotechnika alkalmazása nagymértékű javulást eredményezett a talaj szerves anyag, foszfor és kálium tartalmában (BELOPUKHOV et al., 2023). Napjainkban több irányzat is elterjedőben van, melyekre egységesen jellemző, hogy talaj egészségének növelése az egyik célkitűzésük. A leggyakrabban alkalmazott irányzatok a kímélő és mulcshagyó művelés (CA, conservation agriculture), vagy az úgynevezett regeneratív mezőgazdasági (RA, regenerative agriculture) gyakorlat. Ezen irányzatok alappillére a talaj minimális bolygatása, a folyamatos növényi borítottság, az élő gyökér jelenlétének és a növényi diverzitásnak a növelése (BUSARI et al., 2015). A talajok művelési intenzitásának és a mélységi bolygatásoknak a visszaszorítása pozitív hatású (BUSARI et al., 2015; PUERTA et al., 2018; LITRELL et al., 2021; JUHOS et al., 2024). A művelés csökkentése megtartja és növelni is képes a talaj szervesanyag tartalmát, biológiai aktivitását és szerkezetét is a felsőbb talajrétegekben (MÄDER - BERNER, 2012). A művelés mellett a takarónövények bevonása is pozitív hatású a talajok fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira, ahogy azt már korábbi vizsgálatok is kimutatták (DABNEY et al., 2001; FAGERIA et al., 2005; CLARK, 2008; KAYE et al., 2017; HARUNA et al., 2020). A szerzők változatos takarónövény-keverékeket javasolnak, különös tekintettel a pillangós növény-tartalomra, azaz a biológiai szabad nitrogén-kötési képesség bevonására is. Az irodalmi adatok szerint a takarónövények előmozdítják a jobb nitrogén hasznosulást, megőrizhetik a talajnedvességet, csökkentik a talajeróziót, javítják a talajok fizikai paramétereit, visszatartják a tápanyagok kimosódását, növelve a talaj termékenységet. A talaj tulajdonságainak javítása mellett gyomelnyomó hatásuk van, visszaszoríthatják a betegségeket és a kártevőket, szén megkötésük által csökkentik a globális felmelegedés potenciális szintjét, növelhetik a hozamokat. Mivel az ökológiai gazdálkodás legfőbb eszköze a gyomnövényekkel szemben a talajművelés, ezért annak csökkentése, vagy elhagyása kihívást jelent az ökológiai gazdálkodók számára (DORN et al., 2015; PEIGNÉ et al., 2016). Hasonló a helyzet a takarónövények alkalmazásával is, hiszen a konvencionális gazdaságokban a takarónövényeket a legtöbb esetben gyomirtóval terminálják, amely ökológiai gazdaságokban nem alkalmazható (DORN et al., 2015; PEIGNÉ et al., 2016). További kihívás, hogy a csökkenő talajművelés által a

nitrogén mineralizációjában egy általános nitrogén hiány léphet fel, amit szintén kezelni kell az elvárt termés érdekében (MÄDER - BERNER, 2012). A takarónövények ugyanakkor erre a kérdésre is pozitív választ adnak; a szerzők a keverékekben minimálisan hét növényt javasolnak, amelyekben legalább 1-2 pillangós növény is szükséges.

Több kutatási eredmény szerint az ökológiai gazdálkodás kombinálása további fenntartható talajhasználati módszerekkel 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.) arról számol be, hogy az ökológiai gazdálkodás legjobb talajművelési módszerei, úgy mint a szerves trágyázás, a takarónövények alkalmazása és a talajkímélő művelés, magasabb szervesanyag tartalmat és mikrobiális biomasszát eredményeztek. Az ökológiai gazdálkodóknak is kitűzött cél a talajaik további javítása és a gyors reziliencia (helyreállítás) a globális felmelegedés hatásaival szemben. Az ökológiai gazdálkodás gyakorlatában az egyidőben alkalmazott minél több talajmegújító módszer tovább növelheti, javíthatja a talajok egészségi állapotát és a fenntartható gazdálkodást.

Már a múlt század közepén voltak neves szakemberek, akik a hagyományos művelési rendszer helyett a kímélőbb, sekélyebb talajművelést szorgalmazták (MANNINGER, 1956; KEMENESY, 1959). Számos hazai kutatás is felhívja a figyelmet a talajkímélő művelési gyakorlatra (RÁTONYI, 2007; MADARÁSZ et al., 2016; KOVÁCS et al., 2023; JUHOS et al., 2024, melyek hangsúlyozzák a szerves anyagok jelentőségét. Az ökológiai gazdálkodásban alkalmazott talajművelési gyakorlatok célzott kutatásai, beleértve a talajbiológiai módszereknek, mint indikációs és nyomon-követő, az aktivitások javulását is biztonságosan jelző bevonása ugyanakkor még kevésbé kutatott hazánkban. További szempont a takarónövényekre vonatkozó kísérletek bevonásának és megfelelő biológiai eszközökkel történő kiértékelésének a szükségessége is.

A legtöbb kutatás leginkább csak hosszú távon mutat javulást a fenntartható talajhasználati gyakorlatok hatására. Szükség lehet azonban olyan vizsgálatokra is, amelyek rövidtávon is képesek kimutatni a talaj-állapot javulását, hogy a gazdák minél hamarabb megerősítést kapjanak a helyes művelési módszereikről. Fontos a gazdálkodók megerősítése azért is, hogy a technológiai váltás okozta rövidtávú terméseszkökenés ne okozzon megtorpanást az ökológiai módszerek további követésében és gyakorlatában (ZIKELI - GRUBER, 2017).

A hagyományos talajvizsgálatok a tápanyag-ellátottságra, és így elsősorban a kémiai vizsgálatokra fókuszálnak. Ezek szükségesek a termésmennyiségre figyelés érdekében, de általában ezek a módszerek és értékelési javaslatok kizárják a talajoknak azt a saját és önálló biológiai életerejét, ami nélkülözhetetlen és kulcsfontosságú az ökológiai gazdálkodási körülmények között. A talajegészség szempontja szerint ugyanakkor a talajt úgy kell tekinteni mint egy élő környezeti elemet és meg kell érteni annak fizikai-kémiai tulajdonságai mellett, az oda-vissza-ható talajbiológiai kölcsönhatásokat is (VAN ES et al., 2019; VEERMAN et al., 2020).

A legjobb talajegészség indikátorok azok, amelyek már rövidtávon is érzékenyek a talaj-beavatkozásokra, azaz a megváltozott talajkezelési gyakorlatokra gyorsan reagálnak (STOTT, 2019; CARDOSO et al., 2013). A talajbiológiai mérések jó indikátorai lehetnek a talajban végbemenő változásoknak, mivel érzékenyen reagálnak a megváltozott talajhasználatra (NUNES et al., 2020; STOTT, 2019; CARDOSO et al., 2013; KOVÁCS ET AL. 2024). 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. Minden biokémiai reakciót enzimek katalizálnak. A talajenzimek fontos talajminőségi paraméterekhez kapcsolódnak, sokkal előbb kimutathatók a talajkezelési

gyakorlatok hatásai (akár már hónapok elteltével is) más talajparaméterhez hasonlítva (ALKORTA et al., 2003; RAGHAVENDRA et al., 2020). A dehidrogenáz (DHA) enzimet a talajban zajló oxidatív metabolizmus és így a mikrobiológiai aktivitás indikátorának tekintik (GARCIA et al., 1997; KOTROCZÓ et al., 2023), mivel kizárólag intracelluláris úton keletkezik és csak az élő, és így működőképes sejtek által (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 (VILLÁNYI et al. 2006; SZILI-KOVÁCS, 2011). Számos kutatás bizonyította, hogy a talajkímélő művelés fokozza ezeknek az enzimeknek az aktivitását a talajokban (KUMAR et al., 2017; WEN et al., 2023; NUGROHO et al., 2023;).

A talajbiológiához kapcsolódó talajegészség indikátor lehet a talajok glomalin tartalma is, amely az arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombák által termelt glikoprotein fehérje (WRIGHT - ANDERSON, 2000). Az AM gomba szimbiotikus kapcsolatban él a Földön megtalálható növények nagyjából 80%-ával (KOTTKE – NEBEL, 2005). Az AM gombák tápanyagokat mobilizálnak a növények számára, növényi növekedést serkentő hormonokat bocsátanak ki, de hozzájárulnak a talaj szerkezetének javulásához is (BEGUM et al., 2019). A glomalin a micélium hálózat szerkezetéért felelős molekula és hosszútávú nitrogén szén raktárként is funkcionál (DRIVER et al., 2005). A mikorrhiza gombának és az általuk termelt glomalinnak nagy szerepe van a szén-dioxid megkötésében is a talajban. A talaj szerkezetének javításával olyan módon van összefüggésben, hogy ragasztó tulajdonságú anyagot tartalmaz, amely részt vesz az aggregátumok egybentartásában (LOVELOCK et al., 2004). A glomalin viszonylag gyorsan változik a vetésforgó és a talajművelési gyakorlatok hatására (ROLDÁN et al., 2005), amely ígéretes indikátorrá teheti. Egy 1999-es kutatás (WRIGHT et al.) már kimutatta, hogy a váltás szántásos művelésről no-till-re két év után szignifikánsan növelte az aggregátum stabilitást és a glomalint és a két paraméter között erős korrelációs összefüggés mutatkozott. Ugyanezt az összefüggést a talajművelés kapcsán több kutatás is igazolta a későbbiekben (DAI et al., 2015; WILKES et al., 2021).

Az itt bemutatott kutatás során az enzimek mellett a glomalin-tartalmat, mint lehetséges talajbiológiai indikátort vizsgáltuk, különböző talajművelési gyakorlatok hatására ökológiai gazdálkodásban. Ezeket a biológiai vizsgálatokat a nitrogén könnyebben mozgó formájának vizsgálataival egészítettük ki. Három féle gazdálkodási gyakorlatot hasonlítottunk össze: hagyományos szántásra alapozott művelési rendszert (SZ), kímélő, avagy forгатás nélküli művelési rendszert (K) és talajkímélő művelési rendszert takarónövények használatával kiegészítve (KT). A kutatás célja volt, hogy megvizsgáljuk: i) a két fenntartható talajművelési gyakorlat, a csökkentett talajművelés és a takarónövények együttes alkalmazása rövidtávon eredményez-e változást a talajban a hagyományos szántásos műveléssel összevetve, illetve ii) melyek azok a talajparaméterek, amelyek képesek rövidtávon kimutatni a talajban végbemenő változásokat. Vizsgálatainkban mértük a talaj beavatkozásokra gyorsabban reagáló - biológiai és kémiai mutatókat: kétféle enzimaktivitást (FDA és DHA) valamint a glomalin tartalmat, a kímélő és a hagyományos művelésű parcellákon.

Anyag és módszer

A kísérlet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában, az Ökológiai Gazdálkodási Ágazatban állítottuk be. A terület az Alföldön, pontosabban a Pesti-fennsík hordalékkúpján található, 98-251 méter körüli magasságban. A Duna közelsége miatt a szektor egykor árvízi terület volt, ami hordalékot eredményezett, hozzájárva a talajképződéshez. Soroksáron többféle talajtípus is előfordul, ám a kísérletek

humuszos homok-talajon folytak. Ezt a talajt nagy vízfelvevő képesség és beszivárgás jellemzi, de a vízmegtartó képessége gyenge. A humusztartalma 1,6 % körüli, a humuszréteg maximális mélysége 40 cm. A terület klímája melegnek és száraznak mondható, éves átlaghőmérséklete 10,2 °C, 2000 óra átlagos napsütéssel, a csapadék éves átlagban 500 mm, eloszlása egyenlőtlen. A legtöbb csapadék késő tavasszal és kora nyáron esik, a legszárazabb időszakok pedig jellemzően januártól márciusig tartanak. Az uralkodó szélirány északnyugati.

A kísérleti helyszín 2820 m² nagyságú területet foglal magában, ahol háromféle talajművelést alkalmaztunk, úgy mint i) szántásra alapozott hagyományos művelést, ez volt a kísérleti gazdaságban elterjedt technika (SZ), ii) talajkímélő művelést, amely ez esetben a forgatás elhagyását jelentette (K) és iii) a forgatás nélküli művelést takarónövények alkalmazásával kombinálva (KT). A kísérleti parcellák sávosan, random elrendezésben lettek kialakítva (1. ábra). Minden kezelés két sávban valósult meg, amelyeket további három részre osztottunk a talajmintavételezéshez és ezeket is külön ismétlésként kezeltük. Egy ismétlés 156 m² volt, ez azt jelenti, hogy minden kezeléshez 6 ismétlés tartozott.



1. ábra: A kísérleti terület elhelyezkedése. Jelölések: SZ-szántott, K-forgatás nélküli, KT-forgatás nélküli takarónövényekkel kombinálva.

Figure 1. Location of the experimental site. SZ-ploughed tillage, K-tillage without rotation, KT- tillage without rotation combined with cover crops.

Az SZ parcellákon a hagyományos talajművelési rendszerek elemeit alkalmaztuk, a kísérleti üzem korábbi gyakorlata szerint. A K terület talajművelési gyakorlata lecsökkent a vetés előtti talaj-előkészítésre és a termesztett kultúrnövény származványainak a bedolgozására tárcsázással, majd annak elmunkálására. A KT kezelésnél jellemzően szeptemberi vetéssel, takarónövények alkalmazása történt. A műveleteket az 1. táblázat részletezi.

A felhasznált takarónövény keverék összetétele: facélia (*Phacelia tanacetifolia*), zab (*Avena sativa*), őszi bükköny (*Vicia villosa*), etióp repce (*Brassica carinata*) és olajretek (*Raphanus oleifera*), azonos tömegszázalékos kivetési arányban.

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

Table 1. The three different soil treatments in the division according to the examined years.

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

A talajmintákat 2019 őszén és 2020 nyarán vettük a kísérleti helyszínen. A kompozit minták gyűjtése parcellánként hat pontból történt, 0-20 cm mélységből, kézi talajmintavevő segítségével. A talajminták egy részét hűtőben 4 °C-on tároltuk az enzimaktivitás vizsgálatokig, amelyeket egy héten belül elvégeztünk. A maradék talajokat pedig légszáraz állapotban alkalmaztuk a talajfizikai-kémiai analízisekhez.

A mikrobiológiai enzimaktivitás méréséhez a DHA (dehidrogenáz) és az FDA (fluoreszceindiacetát) vizsgálatokat alkalmaztuk. A DHA esetében THALMANN (1968) módosított TTC (2,3,5-trifenil-tetrazolium kloridos) módszerét (VERES et al., 2013) használtuk. A kémcsövekbe 1-1 g nedves talajmintát mértünk ki, a nem kontroll csoporthoz 1 ml TTC-t adtunk, míg a kontroll csoporthoz 1 ml tris-puffert. A vizsgálathoz talaj nélküli vak mintákra is szükség volt, melyek a szubsztrát spontán bomlásának kiküszöbölésére szolgálnak. Ezután a kémcsöveket vortex-szel összeráztuk, majd 24 órán át 30°C-on inkubáltuk. Később minden mintához 4 ml metanolt adtunk a reakció leállításához, majd további 2 órán át inkubáltuk. Az így kialakult talaj szuszpenziót, centrifugáltuk, 546 nm hullámhosszon fotometráltuk. A kapott abszorbancia értékeket a következő képlettel számítottuk tovább:

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

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 $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right)$ standard-görbéről leolvastva kaptuk meg, melyet a tanszéki munkatársak korábbi méréseikhez már elkészítettek.

A teljes mikrobiális aktivitás megállapítására VILLÁNYI et al., (2006) FDA (fluoreszcein-diacetát) módszert alkalmaztuk. Az eljárás során a nem kontroll csoportba a kémcsövekbe 1-1 g nedves talajt mértünk ki, melyekhez 7,5 ml 60 mM-os kálium-foszfát puffert és 0,1 ml fluoreszcein-diacetát törzsoldatot adtunk. A kontroll elkészítése az FDA törzsoldat kihagyásával történt. A vizsgálathoz talaj nélküli vak mintákra is szükség volt, melyek a szubsztrát spontán bomlásának kiküszöbölésére szolgálnak. A kémcsöveket inkubátorban 60 percig 30 °C-on ráztuk, amikhez később 7,5 ml 50%-os acetont adtunk. Ezután a mintákat centrifugáltuk 5 percig 2000-es fordulatszámra és spektrofotométerrel 490 nm hullámhosszon fotometrálunk. Az abszorbancai értékekből a következő számítással kaptuk meg az aktivitás értékeket:

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

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 $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right)$ a standard-görbéről leolvastva kaptuk meg, melyet a tanszéki munkatársak korábbi mérésekhez már elkészítettek

A talaj nedvességtartalmát a friss nedves talajokból végeztük FÜLEKY (2011) leírása alapján. A mintákat 100 °C-on 24 órán át szárítószekrénybe szárítottuk, majd az alábbi képlet alapján kaptuk meg a talajok nedvességtartalmát:

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

Ahol:

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

(m1): az üres tégely tömege (g)

(m2): tégely + nedves talaj együttes tömege (g),

(m3): tégely + száraz talaj tömege (g).

A könnyen kivonható glomalinnal összefüggő talajfehérjék (EEGRSP: Easily Extractable Glomalin Related Soil Protein) kivonásához kimérünk 2 g talajmintát, amelyet falcon csőbe tettük. 8 ml 20mM-os Citrát puffert (pH=7) adunk a mintákhoz, majd 121°C-ra 30 perc időtartamra autoklávba helyeztük. Ezt követően 15 percig 5000 RPM-en centrifugáltuk, majd a felülúszót (fehérje kivonat) felhasználásig 4°C-on tároltuk. Fehérje standard oldattal kalibráltuk a fotométert. A minták vizsgálatához a korábban elkészített kivonatokból 100µl mintához 3ml Bradford reagenst adtunk, majd 40 percig 25 °C-on inkubáltuk. Ezután 595 nm-en fotometrálunk az oldatot. Az abszorbancai értékeket a kalibrációs egyenes segítségével glomalin tartalomra számoltuk át (ROSIER et al., 2006).

A talaj szerves anyag mennyiségét Tyurin-módszerrel (TYURIN, 1979) határoztuk meg. A mintákból a lombikokba 0,3 g talajt mértünk ki, amihez 10 ml kénsavas kálium dikromátot adtunk. Főzőlapon, 5 percig forraltuk. Az elegy kihűlése után 150 ml-re desztillált vízzel hígítottuk. 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 titrálunk. 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 (vegyszer üvegén feltüntetve 0,9456),
- m: a bemért talaj tömege (g).

A talaj kémhatását potenciometriás méréssel állapítottuk meg (FÜLEKY, 2011).. A mintákból 5 g légszáraz talajt mértünk ki, amihez 12,5 ml desztillált vizet adtunk. A szuszpenzióból keverés, majd 24 órás állás után határoztuk meg a pH-értékét Adwa 21 típusú asztali mérő segítségével.

A talaj ásványi nitrogén tartalmának meghatározásánál, a növények számára felvehető nitrát és ammónium mennyiségét vizsgáltuk KEMPERS és ZWEERS (1986) szerint. A méréshez talajkivonatot készítettünk, ami a 40 g talajmintából és 100 ml 0,1M kálium-kloridból állt. A szuszpenziót 1 órán át rázattuk majd leszűrtük. Főzőpoharakba 5-5 ml szűrletet mértünk, amikhez ViscolorEco 2 illetve 3 reagenseket adtunk (Macherey-Nagel GmbH & Co.). A fotométert a standard kalibráló oldatra kalibráltuk, ami után a mintákat fotometráltuk. Az eredményeket a készülékről mg/l értékben megadva olvashattuk le, amelyet mg/kg-ra váltottunk

Eredmények

A talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak alakulása a kezelések hatására

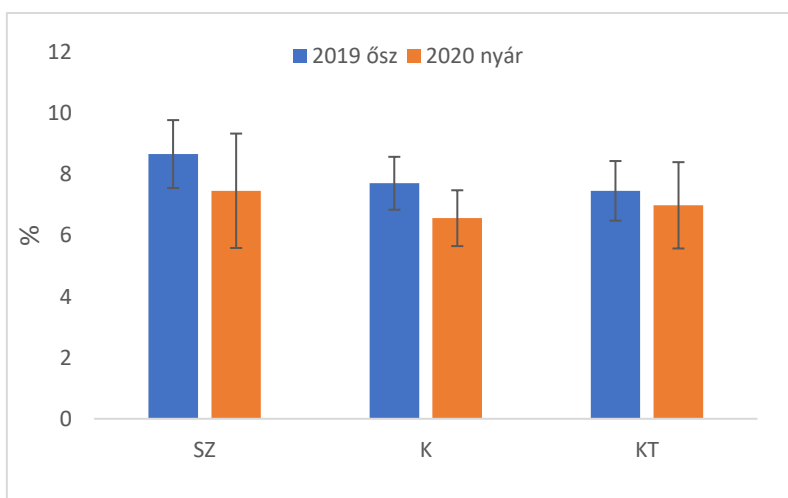
A talajok alapvető tulajdonságait, a humusztartalmát a pH-ját és a felvehető tápelemek mennyiségét a 2. táblázat mutatja be.

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

Table 2. Initial and basic chemical soil properties of the experimental area (Soroksár, 2018).

szerves anyag (%)	NO ₃ mg/kg	NH ₄ mg/kg	P ₂ O ₅ mg/g	K ₂ O mg/g	pH _(H₂O)
2,15	6,5	4,5	922,69	278,2	8,25

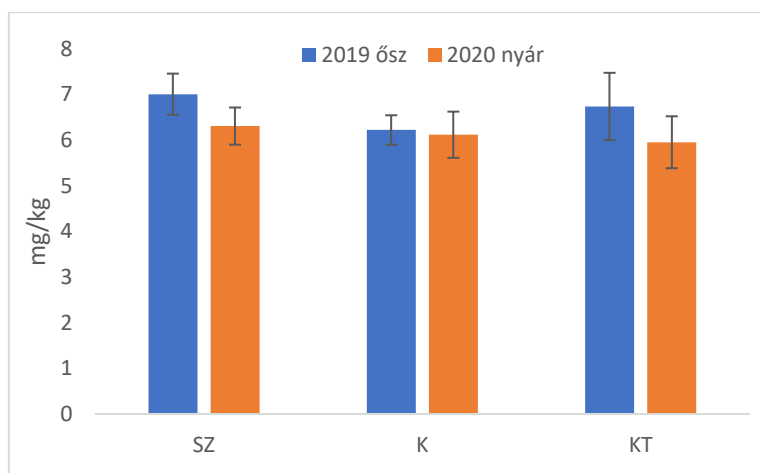
A talaj nedvességtartalma a különböző talajművelések hatására szignifikánsan nem különbözött egymástól (2. ábra). Megfigyelhető azonban, hogy legmagasabb átlagértékeket a szántott (SZ), konvencionálisan művelt terület mutatta.



2. ábra: A nedvességtartalom (%) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ, T, KT) hatására a 2019-es és 2020-as mintavétel alapján.

Figure 2. Development of moisture content (%) values as a result of different soil treatments (SZ, T, KT) based on the 2019 and 2020 sampling.

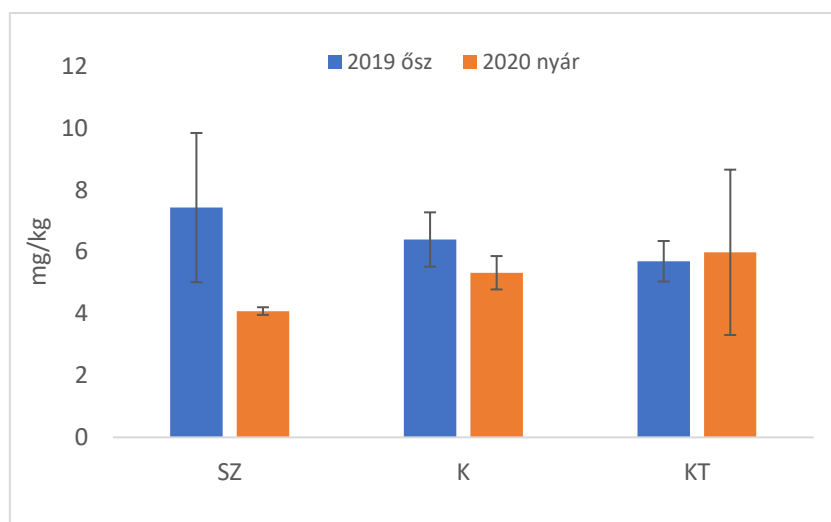
A talaj nitrogén tartalmának megállapításához ammónium és nitrát vizsgálatokat végeztünk el. A 3. ábrán látható, hogy az ammónium értékeiben nem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között.



3. ábra: Az ammónium (NH₄⁺) ion értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ, K, KT) hatására a 2019-es és 2020-as mintavétel alapján.

Figure 3. Evolution of ammonium (NH₄⁺) ion values as a result of different soil treatments (SZ, K, KT) based on the 2019 and 2020 sampling.

A nitrát tartalom eredményei alapján a 2019-es mérés szerint az SZ kezelés mutatja a legmagasabb értékeket, azonban az eredmények nagy szórása miatt, nem mutatható ki szignifikáns különbség (4. ábra). Hasonló a helyzet a takarónövényes parcellában a 2020-as mérésben, az átlagot tekintve magasabb értéket mutat, azonban a nagy szórás következtében itt sem mutatható ki szignifikáns különbség.

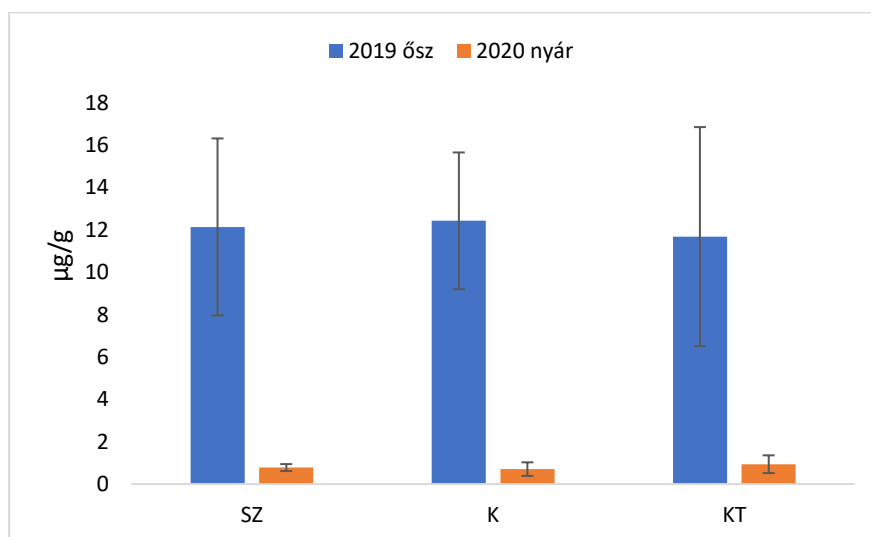


4. ábra: A nitrát (NO_3) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések hatására a 2019 -es és 2020-as mintavétel alapján.

Figure 4. Evolution of nitrate (NO_3) values as a result of different soil treatments based on the 2019 and 2020 sampling.

A talajbiológiai tulajdonságok alakulása a kezelések hatására

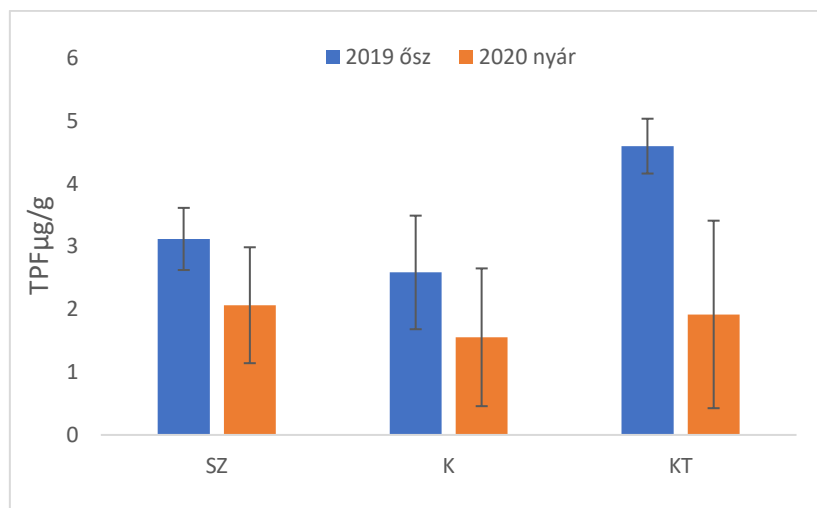
A 2019 őszen vett minták FDA enzimaktivitásában a kezelések, azaz a különböző talajművelési eljárások között nem mutatkozott szignifikáns különbség. Az eredmények átlaga között azonban csak igen kis különbség adódott (5. ábra). A 2020-as mintavétel alapján sem mutatkozott szignifikáns különbség az ismétlések átlagában, bár a KT magasabb eredményt adott, mint a szántott (SZ) és a csökkentett művelésű (K) terület (5. ábra).



5. ábra: A fluoreszcien-diacetát (FDA) enzim aktivitás értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ, K, KT) hatására a 2019-es és 2020-as mintavétel alapján.

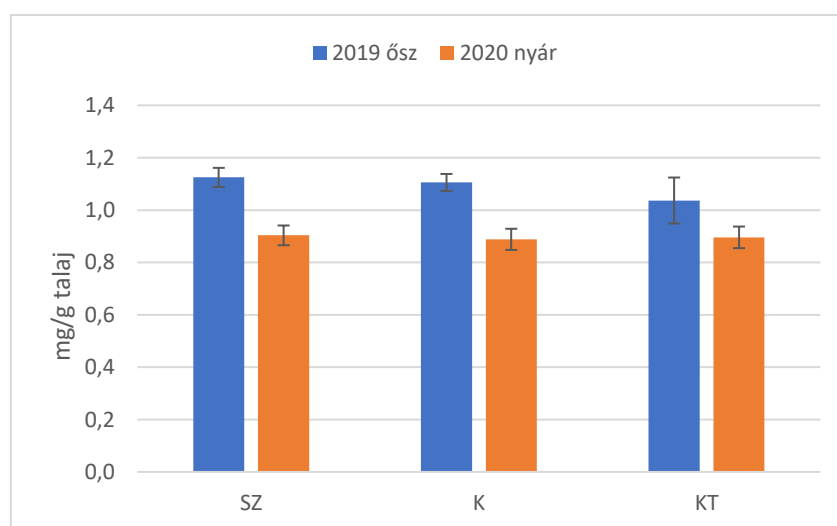
Figure 5. Development of Fluorescein diacetate (FDA) enzyme activity values as a result of different soil treatments (SZ, K, KT) based on sampling in 2019 and 2020

A dehidrogenáz enzimaktivitás (DHA) értékeiben statisztikailag igazolt különbségek is adódtak a takarónövényekkel is kombinált kezelésben, különösen az első mintavételi év során. A KT szignifikánsan nagyobb enzimaktivitást mutatott, mint az SZ vagy a K területek a két mintavételi év (2019, 2020) során. A második évben ezek a különbségek nem mutattak statisztikailag is alátámasztott különbségeket (6. ábra).



6. ábra: A dehidrogenáz enzim-aktivitás (DHA) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ, K, KT) hatására a 2019-es és 2020-as mintavétel során.
Figure 6. Development of dehydrogenase enzyme activity (DHA) values as a result of different soil treatments (SZ, K, KT) during sampling in 2019 and 2020.

Az AM gombák aktivitására utaló glomalin-tartalom (EEGRSP) adatai szerint a különböző talajkezelések között nem mutatkozott számottevő különbség egyik mintavételi időpontban sem; az évjárat hatás azonban jól megfigyelhető az adatokból (7. ábra).



7. ábra. A glomalin-tartalom (EEGRSP) értékeinek alakulása a különböző talajkezelések (SZ, K, KT) hatására a 2019-es és 2020-as mintavétel alapján.
Figure 7. The development of glomalin content (EEGRSP) values as a result of the different soil treatments (SZ, K, KT) based on the 2019 and 2020 sampling.

A kezelések alakulása a két mintavételi év során

A vizsgálatoktól függően megállapítható az is, hogy azok értékeit a vizsgálati év és évszak is befolyásolta. A 3. táblázatban összegeztük a kezelések hatására bekövetkező változásokat a kezelések ható-idejének első és második évében (2019, 2020). A két év közötti különbségek egyes mért talajtulajdonságok között megnyilvánulnak. Leginkább év és évszakfüggő lehet ennek megfelelően a talaj nedvességtartalma. A talajok nedvessége befolyásolja a tápelemek felvehetőségét is, így a nitrát és ammónium-tartalomban is kimutathatók a 2019-es évben tapasztalt magasabb értékek. További összefüggések a talajbiológiai aktivitással is jelentkeztek. A vizsgált két talajenzim közül az FDA aktivitás mutatta legjobban a szezonális hatást, de a glomalin-tartalom (EEGRSP) és a DHA enzimaktivitás is kisebb értéket vett fel a nyári mintavétel esetében (3. táblázat).

3. táblázat: A különböző talajparaméterek alakulása a két mintavételi évben. SZ - hagyományos művelés, K – forgatás nélküli művelés, KT – forgatás nélküli művelés takarónövényekkel

Table 3. Development of different soil parameters in the two sampling years. SZ – conventional tillage, K – non-inversion tillage, KT – non-inversion tillage with cover crops

Talajparaméterek évjárat		Fizikai-kémiai tulajdonságok						Talajbiológiai tulajdonságok					
		nedvesség tartalom %		NO ₃ mg/kg		NH ₄ mg/kg		DHA TPF μg/g		FDA μg/g		EEGRSP 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

Következtetések

Az enzimaktivitás eredményeiből arra következtethetünk, hogy a dehidrogenáz enzimaktivitás érzékenyebb a különböző talajkezelések közti különbségekre, ugyanis ennél a mérésnél figyelhető meg szignifikáns különbség az SZ és a KT művelés között. A szignifikánsan magasabb DHA aktivitás a takarónövényes parcellák javára mutatott különbséget. Mivel a K területeken is szignifikánsan alacsonyabb értékek mutatkoztak, ezért feltételezhetjük, hogy a takarónövények jelenléte az, ami a magasabb biológiai aktivitást eredményezi. A takarónövények élő gyökerekkel fokozzák a talaj 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 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 enzim aktivitásra, azonban azon a területeken, ahol még nem telt el elegendő idő a takarónövények alkalmazásának beállítása óta nem volt kimutatható különbség. Kutatásunkban három év nem volt elegendő arra, hogy az FDA aktivitásban kimutatható szignifikáns különbségek mutatkozzanak meg a takarónövények alkalmazásának eredményeként. Ha a talajkímélő művelést, mint egyedüli

módszert tekintjük, akkor a két év időtartam szintén nem bizonyult elégnek, hogy szignifikáns különbség legyen kimutatható a hagyományos műveléssel összehasonlítva. 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 DHA a hatodik leggyakoribb enzim, amelyet ilyen kutatásokban általában mérnek. A fluoreszcein-diacetát (FDA) enzimet ugyanakkor 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.2017) mindkét enzim, a DHA és az FDA is szignifikánsan magasabb értékeket mutatott a talajkímélő művelésben összehasonlítva a hagyományos műveléssel. A kimutatott különbségek azonban egy valamivel hosszabb időszak, 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 glomalin mérés egyik mintavételi időpontban sem mutatott szignifikáns eltérést a különböző talajkezelések hatására rövid távon. Három év alatt még nem keletkeztek kimutatható és kellően érzékeny különbségek a kezelések között jelen kísérleti körülmények között. Így 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 (KOBIEŔSKI et al., 2020). A glomalin leginkább a mikorrhiza gombák mennyiségével és a növényi gyökér-kolonizációval van összefüggésben, amit befolyásol még a talajok szerkezete és agyagásvány-tartalma, valamint az organominerális komplexek. A homoktalajokban a glomalin tartalom nehezebben változik. A mikotróf növények gyakoribb alkalmazása a takarónövényekben is az egyik módja lehet a glomalin mennyiségek és így közvetve a talajok szerkezetének a javításához. A 7. ábra alapján láthatjuk azt is, hogy csak kismértékű nem szignifikáns) eltérés 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 (2. ábra) habár nem mutatott szignifikáns különbséget a különböző talajkezelések között – a szántásos területen mutatkozott mind a két 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, amit a nem megfelelő idejű terminálás is meghatároz (UNGER - VIGIL, 1998).

A nitrogén különböző talajban megtalálható formáit tekintve a nitrát egy könnyen mozgó talajoldatban megmaradó összetevő, míg az ammónium a talajkolloidok felületén található és így kevésbé mozgékony elem (STEVENSON, 1965). A kisebb szórás is igazolja, hogy az ammónium stabilabb értéket mutatott mind a két mérésnél, míg a nitrát nagy szórással és az évek között is nagy különbséggel mutatkozott. Ahhoz, hogy a növények számára elérhető legyen az ammónium, a baktériumok átalakító tevékenységére van szükség (TINKER, 1984). Az SZ területen talán a kisebb enzimaktivitás miatt kevésbé került sor az ammónium átalakítására, ezért csak a nem szignifikáns eltérés 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 nagyobb fokú volt a mineralizálódás (ÁNGYÁN - MENYHÉRT, 1997) ezt mutathatja a mért magasabb nitrát tartalom. Ezt a mineralizálódott nitrogént azonban a következő mintavételig az elvetett növények és a gyomok felhasználták.

Az eredmények összességét tekintve a kísérletünkben a különböző talajművelések hatásának vizsgált paraméterei között három év alatt statisztikailag igazolható különbségek csak pár

esetben voltak kimutathatók Ez alól kivételt jelenthetnek az enzimaktivitás szignifikáns eltérései egyes mintavételi időpontokban. Az enzimaktivitások lehetnek a korai indikátorai annak, hogy a megválasztott talajművelési gyakorlatok (művelés, takarónövény) hatással vannak-e már rövidtávon is a talaj minőségének kimutatható javulására, esetünkben enyhén humuszos homoktalaj vizsgálata során.

Összegzés

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 el tudnak-e érni hatást néhány, a talajbiológiához kapcsolódó indikátorban. 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 alkalmazásának kombinációjával már 2 év után kimutatta a változást a DHA aktivitásban a jelen kísérletünkben. Ezért ahhoz, hogy a talajegészségben gyors javulást érhesünk el, a két művelési technika együttes alkalmazása megfelelő módszernek bizonyult - vizsgálataink és a hivatkozott szakirodalmi eredmények alapján -, és javasolható az ökológiai gazdálkodás keretei között is. A többi mért paraméter, úgy mint FDA enzimaktivitás, humusz mennyiség, glomalin tartalom és a tápanyagvizsgálatok 2 év elteltével még nem tudtak kimutatni jelentős különbséget a különböző talajkezelések hatására.

Hivatkozott források

- 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. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2003.18.1.65>
- ÁNGYÁN, J. - MENYHÉRT, Z. (1997): Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.
- 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. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2027976>
- BEGUM, N. - QIN, C. - AHANGER, M. A. - RAZA, S. - KHAN, M. I., - ASHRAF, M., AHMED N. - ZHANG, L. (2019): Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.275585>
- BIRKÁS, M. (2006): Földművelés és földhasználat. Budapest, Mezőgazda kiadó.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- CARDOSO, E. J. B. N. - VASCONCELLOS, R. L. F. - BINI, D., MIYAUCHI, M. Y. H. - SANTOS, C. A. D. - ALVES, P. R. L. - DE PAULA, A. M. - NAKATANI, A.S. - PEREIRA, J. M. - 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. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.07.002>
- CLARK, A. (Ed.). (2008): *Managing cover crops profitably*. Diane Publishing, Collingdale, PA, United States.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0354-1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107356>
- 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. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104110>
- DAI, J. - HU, J. - ZHU, A. - BAI, J. - WANG, J. - LIN, X. (2015): No tillage enhances arbuscular mycorrhizal fungal population, glomalin-related soil protein content, and organic carbon accumulation in soil macroaggregates. *Journal of Soils and Sediments*, 15, 1055-1062. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1091-9>
- DORN, B. - JOSSI, W. - VAN DER HEIJDEN, M. G. (2015): Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. *Weed Research*, 55(6), 586-597. <https://doi.org/10.1080/00103620500303939>
- DRIVER, J. D. - HOLBEN, W. E., - RILLIG, M. C. (2005): Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(1), 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.011>
- 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. <https://doi.org/10.1080/00103620500303939>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S002185962100040X>
- FÜLEKY 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.
- 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. <https://doi.org/10.1080/00103629709369777>
- 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. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3: e20105. <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>
- JUHOS, K. - NUGROHO, P. A. - JAKAB, G. - PRETTL, N. - KOTROCZÓ, Z. - SZIGETI, N. - SZALAI, Z. - MADARÁSZ, B. (2024): A comprehensive analysis of soil health indicators in a long-term conservation tillage experiment. *Soil Use and Management*, 40(1), e12942. <https://doi.org/10.1111/sum.12942>

- 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. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
- KEMENESY E. (1959): Talajerőgazdálkodás. Budapest. Akadémiai Kiadó.
- KEMPERS, A. J., & ZWEERS, A. (1986): Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17(7), 715-723. <https://doi.org/10.1080/00103628609367745>
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111809>
- KOTROCZÓ ZS. - FEKETE I. - JUHOS K. - PRETTL N. - NUGROHO P.A. - VÁRBÍRÓ G. - BIRÓ B. - KOCSIS T. (2023): Characterisation of Luvisols Based on Wide-Scale Biological Properties in a Long-Term Organic Matter Experiment. *Biology*, 12, (7) 909. <https://doi.org/10.3390/biology12070909>
- KOTTKE, I., - NEBEL, M. (2005): The evolution of mycorrhiza-like associations in liverworts: an update. *New Phytologist*, 330-334. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01471.x>
- KOVÁCS B. - ANDREOLLI M. - LAMPIS S. - BIRÓ B. - KOTROCZÓ Z. (2024): Bacterial Community Structure Responds to Soil Management in the Rhizosphere of Vine Grape Vineyards. *Biology*, 13(4), 254. <https://doi.org/10.3390/biology13040254>
- KOVÁCS, G. P. - SIMON, B., BALLA, I. - BOZÓKI, B. - DEKEMATI, I. - GYURICZA, C. - PERCZE, A. - BIRKÁS, M. (2023): Conservation tillage improves soil quality and crop yield in Hungary. *Agronomy*, 13(3), 894. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030894>
- 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. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1939-1946.
- LIEBIG, M. A. - DORAN, J. W. (1999): Impact of organic production practices on soil quality indicators. American Society of Agronomy, *Crop Science Society of America*, and *Soil Science Society of America*, 28(5) 1601-1609. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100903>
- 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. <https://doi.org/10.1002/saj2.20259>
- LOVELOCK, C. E. - WRIGHT, S. F. - CLARK, D. A. - RUESS, R. W. (2004): Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, 278-287. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00855.x>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2016.1150022>
- MÄDER, P. - BERNER, A. (2012): Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 7-11. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000470>
- MANNINGER G. A. (1956): A talaj sekély művelése. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó.
- NUGROHO, P. A. - JUHOS, K. - PRETTL, N. - MADARÁSZ, B. - KOTROCZÓ, 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. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.003>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114335>
- PEIGNÉ, J. - CASAGRANDE, M. - PAYET, V. - DAVID, C. - SANS, F. X. - BLANCO-MORENO, J. M. - COOPER, J. - GASCOYNE, K. - ANTICHI, D. - BÀRBERI, P. - BIGONGIALI, F. - SURBÖCK, A. - KRANZLER, A. - BEECKMAN, A. - WILLEKENS, K. - LUIK, A. - MATT, D. - GROSSE, M. - HEß, J. - CLERC, M. - DIERAUER H. - MÄDER, P. (2016): How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 31(1), 72-85. <https://doi.org/10.1017/S1742170514000477>
- PUERTA, V. L. - PEREIRA, E. I. P. - WITWERT, 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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.007>
- RAGHAVENDRA, M. - SHARMA, M.P. - RAMESH, A. - RICHA, A. - BILLORE, S.D. - VERMA, R.K. (2020): Soil Health Indicators: Methods and Applications. In: RAKSHIT, A. - GHOSH, S. - CHAKRABORTY, S. - PHILIP, V. - DATTA, A. (-eds) *Soil Analysis: Recent Trends and Applications*. SingaporeSpringer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2039-6_13
- RÁTONYI, T. (2007): Hagymányos és a talajkímélő termesztéstechnológiai rendszerek talaj fizikai állapotára gyakorolt hatásának értékelése / Effects of conventional and conservation tillage systems on soil physical status. OTKA Kutatási Jelentések / OTKA Research Reports.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.01.004>
- ROSIER, C. L., HOYE, 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. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.021>
- SHAH, K. K. - TRIPATHI, S. - TIWARI, I. - SHRESTHA, J. - MODI, B. - PAUDEL, N. - DAS, B. D. (2021): Role of soil microbes in sustainable crop production and soil health: A review. *Agricultural Science and Technology*, 13(2), 109-118. <https://doi.org/10.15547/ast.2021.02.019>
- SOLAIMAN, Z. (2007): Measurement of microbial biomass and activity in soil. *Advanced techniques in soil microbiology* (pp. 201-211). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70865-0_13
- STEVENSON, F. J. (1965): Origin and distribution of nitrogen in soil. In BARTHOLOMEW, W.V. - CLARK, F.E. (Eds) *Soil Nitrogen*, 10, 1-42. American Society of Agronomy, Agronomy Monographs. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr10.c1>
- STOTT, D. E. (2019): Recommended soil health indicators and associated laboratory procedures. Soil Health Technical Note, No. 450-03. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010208>
- THALMANN, A. (1968): Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid. *Landwirtschaft. Forsch*, 21, 249–258.
- TINKER P. B. (1984): The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant and Soil*, 76, 77–91. <https://doi.org/10.1007/BF02205569>

- TYURIN, I. V. (1979): K metodike analiza dlja szoversennogo izucsenyija szosztava pocsvennogo peregnoja ili gumusza, 1951. In: Szegi J. (szerk.): *Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek*. Kecskemét. Mezőgazdasági Könyvkiadó, pp. 146-147.
- 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 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. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0338>
- VEERMAN, C. - PINTO CORREIA, T. - BASTIOLI, C. - BIRÓ B. (2020): Caring for soil is caring for life – Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate – Report of the Mission board for soil health and food , European Commission, Directorate-General for Research and Innovation , Brussels, Publications Office <https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>
- 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. <https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0002>
- VILLÁNYI, I. - FÜZY, A. - ANGERER, I. - BIRÓ, B. (2006): Total catabolic enzyme activity of microbial communities. Fluorescein diacetate analysis (FDA). p. 441-442. In: Understanding and modelling plant-soil interactions in the rhizosphere environment. Handbook of methods used in rhizosphere research. Chapter 4.2. Biochemistry (ed.: D. L. JONES). Swiss Federal Research Institute WSL; Birmensdorf. ISBN 3-905621-35-5
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118904>
- WILKES, T. I. - WARNER, D. J. - EDMONDS-BROWN, V. - DAVIES, K. G., - DENHOLM, I. (2021): Zero tillage systems conserve arbuscular mycorrhizal fungi, enhancing soil glomalin and water stable aggregates with implications for soil stability. *Soil Systems*, 5(1), 4. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5010004>
- 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. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361825x>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s003740050653>
- ZIKELI, S. - GRUBER, S. (2017): Reduced tillage and no-till in organic farming systems, Germany—Status quo, potentials and challenges. *Agriculture*, 7(4), 35. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040035>

Szerzők

Tóth Eszter MSc

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék és Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

toth.eszter9011@gmail.com

Ferschl Barbara MSc

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási
Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

ferschl.barbara@gmail.com

Sundoss Kabalan

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest,
Villányi út 29-43.

kabasuzana@gmail.com

Dr. Juhos Katalin PhD

egyetemi adjunktus

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest,
Villányi út 29-43.

Juhos.Katalin@uni-mate.hu

Dr. Kotroczó Zsolt PhD

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest,
Villányi út 29-43.

kotroczo.zsolt@gmail.com

Dr. Biró Borbála DSc

egyetemi tanár

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest,
Villányi út 29-43.

biro.borbala@gmail.com

Dr. Szalai Zita PhD

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási
Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Szalai.Zita.Magdolna@uni-mate.hu

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

