

Válasz Prof. Dr. Pepó Péter bírálatára

Zsembeli József: Új megoldások az alkalmazott agrárkutatásban című doktori értekezéséhez

Tisztelt Pepó Péter Professzor Úr!

Ezúton is szeretném megköszönni a doktori értekezésemről készített alapos és szakmailag igen értékes bírálatát. Véleményét figyelmesen tanulmányoztam, az alábbiakban részletesen reagálok a Professzor úr által megfogalmazott főbb észrevételekre, kritikákra és javaslatokra.

1. A dolgozatba foglalt kutatási tevékenység tematikája és háttere

Teljes mértékben egyetértek Professzor úrral abban, hogy mind a növénytermesztés kutatása, mind a gyakorlata a talaj tanulmányozása és ismerete nélkül nem lehet sikeres. Magam is Növénytermesztés és ökológia szakirányon végeztem a Debreceni Agrártudományi Egyetemen, a talajtani kutatásokkal pedig - ahogy azt Opponensem is említi - a többek között Sipos Sándor, Nyíri László és Blaskó Lajos neve által fémjelzett karcagi iskola haladó hagyományait követve kezdtem el foglalkozni. Őszintén remélem, hogy a tudományos diákköri konferenciákon elért sikerek és az egyetemeken elhelyezkedő egykori hallgatóim magas száma azt mutatja, hogy én magam is „meg tudtam fertőzni” jónéhányukat a talaj iránti érdeklődéssel. Sokat köszönhetek az elődöknek, értekezésemben külön kiemeltem Nyíri László és Várallyay György professzor urakat, mivel őket példaképeimnek tekintem, mindketten támogattak pályám kezdetén, személyük és munkásságuk pedig folyamatosan inspirált a kutatói tevékenységem során. De hálás vagyok annak az egyetemi környezetnek is, amit 30 évig a Debreceni Egyetem, „érettebb” kutatóként pedig a MATE biztosított számomra háttérként, és ami lehetővé tette, hogy oktatóként is tovább tudjam adni az általam megszerzett ismereteket és tapasztalatokat.

2. A dolgozat szerkezete, formai és tartalmi megjegyzések

A kézbevételt követően Professzor úr rögtön tapasztalta, hogy a dolgozatom *„részben követi a klasszikus értekezés előírásait, részben azonban szakít is azokkal”*. Örülök ezen megjegyzésének, hiszen ez volt a célom. Örömmel olvastam azt is, hogy Opponensem a dolgozatot olvasmányos stílusúnak és követhetőnek tartja. Egyetértek azzal, hogy néhány helyen valóban túl részletes lett a számítások ismertetése, illetve bizonyos ismétlődések előfordulnak, bár ezek új információkkal is szolgálnak az előzőek kiegészítéseként.

Ahogy Professzor úr is említi, a dolgozat struktúrája a klasszikus szerkezettől eltérően a fejezetekhez kapcsolódóan mutatja be az irodalmi háttérét és a módszereket, ami szerintem is így előnyösebb az olvasó számára. Ezt a felépítést tartottam célszerűnek az előzmények és az eredmények közvetlen összekapcsolásához.

Opponensemnek a címmel kapcsolatos megjegyzése teljes mértékben jogos! Engedje meg, hogy a címválasztásra vonatkozó álláspontomat az 5. fejezetre vonatkozó kritikájával együtt ismertessem. Professzor úr jó érzékkel tapintott rá arra a dilemmámra, hogy „*a talajok kevésbé vizsgált tulajdonságaival, folyamataival*” foglalkozó fejezeteknek milyen kifejező címet adjak. Ahogy Professzor úr is megfogalmazta: „*a disszertáció hat vizsgálati területet ölel fel*”. Arra a döntésre jutottam, hogy az igen részletes fejezetcímek helyett csak ezen tématerületeket jelölöm meg a fejezetek címében. Ugyanez igaz a dolgozat címét tekintve is. Elismerem, hogy ez megosztó lehet és teljes mértékben elfogadom a címadással kapcsolatos kritikákat. Az agrárium más területeinek művelői joggal kérheti számon a címadást. Való igaz, az alkalmazott agrárkutatás kifejezést szélesebb értelemben vesszük, mint amilyen irányultságú a dolgozatom. Elismerem, a javasolt konkrétabb megfogalmazás (például: „*Talaj és klíma kutatások innovációja a növénytermesztésben*”) kifejezőbb lett volna. Jelen, a kutatási eredményekre vonatkozó metodikai és szakmai megjegyzéseire adott válaszaimban már specifikusabb címekkel jelöltem az egyes témaköröket.

3. A kutatási eredményekre vonatkozó metodikai és szakmai megjegyzések

a) A harmat mennyiségének meghatározására kidolgozott új módszer

Köszönöm, hogy a liziméteres talajharmat mérési módszeremet fontos információforrásnak tartja. A bírálatban jelzett eltérések az 1. táblázatban és a 6-7. ábrákon közölt adatok között valóban fennállnak, aminek az az oka, hogy dolgozatban eredetileg az 1 órás mérésgyakoriságú és a simított adatokat is ábrázolni kívántam, de az azonos tendenciák miatt csak az egyik módszer eredményeinek grafikus ábrázolását tartottam célszerűnek. Sajnos nem a címnek megfelelő ábrák maradtak a dolgozatban, hanem a simított adatokat bemutatók. Hogy egy klasszikust idézzek: „*Hibátlan dolgozat nincs!*” Mindazonáltal a harmat havonkénti eloszlásának jellemzésére - ami az ábrák közlésének a célja volt - a módszerrel meghatározott értékek egyaránt alkalmasak. Köszönöm, hogy felhívta a figyelmemet az 1. táblázatban fellelt számítási hibának tűnő szerkesztési hibára. A harmat havi mennyiségeit 1 tizedes pontossággal tartalmazza a táblázat, az összesítő sorba viszont az Excel táblázatkezelő programból a 2 tizedes pontossággal számított értékek kerültek bemásolásra, majd 1 tizedes értékre kerekítésre. A helyes értékek mm-ben kifejezve: 43,3 14,0
29,5 49,4 19,1 30,6.

b) A talaj sóforgalmának számítására kidolgozott új számítási módszer

Megtisztelő, hogy dolgozatom sóforgalommal foglalkozó fejezetét úgy értékeli, hogy rendkívül értékes adatokat szolgáltat a felhasznált öntözővíz minőségéről, a másodlagos szikesedésről, a talaj rétegenkénti sókészletének változásáról, illetve a talaj sókészletének dinamikájáról. Teljes mértékben egyetértek azzal a megállapításával, hogy az eredmények erősen függenek az időjárási feltételektől. A talaj sóforgalmának liziméteres vizsgálata Karcagon 1984 óta folyik, az általam ismertetett, 2009. évi felújításokat követően is folyamatosan végezzük, így a dolgozatban leírt sókészlet dinamikai és sómérleg eredmények minden évre (2009-2024) rendelkezésre állnak. A dolgozatom elsődleges célja az általam kidolgozott vagy továbbfejlesztett módszertani megoldások ismertetése volt, így ezekre fókuszálva csak egy-egy jellemző év eredményeit közöltem a másodlagos szikesedéshez kapcsolódó kutatásaimból. A vizsgálat sorozat eredményeinek több évjáratra is kiterjedő ismertetése meghaladja egy doktori mű terjedelmét, amit az M2. sz. mellékletben felsorolt, eddig megjelent 15 db tudományos publikáció is fémjelez.

c) A talajból kibocsátott CO₂ mennyiségének mérésére fejlesztett speciális eszközök és a talaj CO₂ emissziójának hosszú távú előrejelzésére alkalmazott exponenciális modell

Köszönöm a felvetést az eltérő éves emissziós értékekről (5,44 t/ha vs. 6,96 t/ha). Ez az eltérés a számítási módszerek közötti különbségekből fakad. Az 5,44 t/ha éves emisszió mennyiség a növényborítás nélküli talajfelszín éves szén-dioxid-kibocsátásának heti rendszerességgel mért adataiból származik. Ebben az egyszerű megközelítésben a heti adatokból a szén-dioxid-emisszió napi dinamikájának figyelembevételével napi adatokat számítottunk. A másik módszer esetében a napi dinamikát is befolyásoló körülményeket (talaj nedvességtartalma, hőmérséklete) nagyobb hangsúllyal és azok gyakoribb mérése alapján vettük figyelembe az O'Connell modellel meghatározott összefüggés alapján. Bár nagyságrendi eltérés nincs a két módszerrel meghatározott érték között, véleményem szerint a 6,96 t/ha éves emissziós érték közelebb áll a valósághoz, de mindenképpen jobban összhangban van számos más kutató eredményeivel (amit a dolgozatban be is mutattam).

d) Magyarországi talajok szerves szénkészletének meghatározása és metodikai konvertálások

A humusz a talaj szerves anyagának a része, amely átesett a humifikáció folyamatán. Professzor úrnak igaza van, nem csak a mennyisége, de a minősége is jelentősen meghatározza, hogy milyen mértékben képes a talaj a növények számára fontos tápanyagokat megkötni és visszatartani. A laboratóriumi vizsgálatok során viszont nemcsak a valódi humuszanyagok mennyisége kerül meghatározásra.

A szakirodalom szerint a laboratóriumi módszerek közül a Tyurin-módszer (krómsavas oxidáció) korrekt humusztartalom-értéket ad. Ez a módszer gyorsabb és pontosabb, mint a korábban gyakran használt permanganátos eljárás, és alkalmas a humusztartalom megbízható meghatározására, különösen 12-15% humusztartalom alatt. Ásványi talajoknál a nem humusz jellegű, elbomlott szerves vegyületek mennyisége azonban nem jelentős (csupán az összes szerves anyag 10-15%-a). A Tyurin-módszer viszont elsősorban a stabilabb, humifikált szerves anyagokat, tehát a valódi humusz mennyiségét méri. Ez a módszer nem oxidálja teljesen a könnyen bomló szerves anyagokat.

Egy másik meghatározási módszer az, amikor a talajt csőkemencében O_2 áramba hevítik, s a képződött CO_2 mennyiségéből következtetünk a C-tartalomra. A szárazégetéssel a talaj teljes szerves szén tartalmát méri, amely magában foglalja nemcsak a humuszt (stabil szerves anyagokat), hanem a könnyebben bomló, friss szerves anyagokat is, mint például a növényi maradványok vagy a mikrobiális biomassa. Ezért jellemzően magasabb értékeket ad a humusztartalomra vonatkozóan.

A humusz minősége közvetetten befolyásolja a talaj humusztartalmát, mivel a jó minőségű humuszanyagok stabilabbak, lebomlásuk lassabb, így hosszabb ideig megőrzik a talaj szervesanyag-készletét. A kedvező minőségű humusz elősegíti a talajszerkezet kialakulását, a mikrobiológiai folyamatokat, és így támogatja a további humuszképződést és -megőrzést, ami hosszabb távon növeli a humusztartalmat. Nem találtam olyan adatokat, amelyek a talaj humuszanyagainak minősége és az aktuális szerves szénkészlete közötti összefüggést magyaráznák.

Úgy vélem, egy a humuszminőség vizsgálatára és árnyaltabb konvertálásra irányuló kutatás igen hasznos adalékkal szolgálna a talaj szerves anyagának pontosabb meghatározása tekintetében. Mindazonáltal a kutatásom során a szabványosnak tekinthető átszámítási faktort alkalmaztam. Ebben a tekintetben a humusz minőségét nem is szükséges figyelembe vennünk, hiszen a szabványos laboratóriumi humusztartalom meghatározás során a szerves kötésű C-mennyiségét határozzuk meg (az oxidációhoz szükséges oxidálószer mennyiségéből) és ebből számításból kapjuk meg a humusztartalmat az alábbiak szerint:

$$Hu \% = C_{ox} \% * 1,724$$

mivel a talaj szervesanyagok átlagos C tartalma 58 %, így $100/58 = 1,724$.

Való igaz, hogy a hosszabb szénláncú, nagy molekulájú, jobb minőségű humuszanyagok több szerves szén tartalmaznak, így ezek szerves szén tartalma 58%-nál nagyobb lehet. Ha rendelkezésre állna egy erre vonatkozó, dinamikusan frissülő adatbázis, akkor nagyobb pontossággal lehetne meghatározni hazai talajaink valós szerves szénkészletét.

e) Az őszi káposztarepce és napraforgó tarlómaradványok nitrogén tartalmának meghatározása és a nemzetközi útmutató kiegészítésére tett javaslat

Egyetértek Professzor úr azon megjegyzésével, hogy pontosabb lett volna az 5. fejezetnek csak a növényi maradványok által a talajba visszakerülő nitrogén mennyiségére utaló címet adni. A címadással kapcsolatos dilemmámat már fentebb taglaltam, itt külön erre nem térek ki. Professzor úr azt is megemlíti, hogy nem derült ki, melyik évben történtek az 5. fejezetben részletezett vizsgálatok. Valóban nem közöltem a vizsgálatok évét, ami egyébként 2011. Magam is azon az állásponton vagyok, hogy idézem: „fontos lenne nem csak egy-egy év, hanem több év adatait is figyelembe venni”. Mindazonáltal ez a módszertani fejlesztés egy projekt keretében történt. A projektben a megbízó az akkori Országos Meteorológiai Szolgálat volt, a megbízott pedig az akkori DE AGTC, a feladat pedig a *„Repce és napraforgó esetén a tarlómaradvány hányad (a szemtermés és a képződő tarlómaradvány hányadosa), a tarlómaradvány szárazanyag tartalom és a tarlómaradvány N-tartalom Magyarországra jellemző, reprezentatív értékeinek meghatározása”* volt. Igyekeztünk a feladatot a lehető legnagyobb kiterjesztésben végrehajtani, és a méréseket - úgymond „önszorgalomból” - a foszfor- és a kálium-tartalomra is kiterjesztettük. Szintén kutatói kíváncsiság által vezérelt saját ötlet volt, hogy talajmintákat is vegyünk, így a talaj és a növény tápanyagtartalma közötti összefüggést is vizsgáljuk az adott termőhelyeken. A projekt befejezési határideje 2011. december 31. volt, így csak egy tenyészidőszak szűk adat tartománya állt rendelkezésünkre. Ahogy Professzor úr is megállapította, az eltérések és anomáliák mérséklése érdekében a növényminták N-tartalmának súlyozott átlagértékét vettem figyelembe a számítások során.

Professzor úr javasolja, hogy gondoljam át azon általános következtésemet, miszerint „napraforgó és repce esetében a tarlómaradványból származó nitrogén mennyisége nagymértékben hozzájárul a talaj tápanyagkészletének gyarapításához, míg ez foszfor- és kálium esetében ez kisebb mértékű, mert a foszfor és kálium jelentős része a terméssel együtt betakarításra kerül, s kevesebb hányada marad vissza a növény többi részében”. Köszönöm ezt az észrevételt, mivel mindenképpen pontosításra szorul ezen megállapításom. Az alábbi táblázatban bemutatom a repce és a napraforgó növényi maradványok általam „önszorgalomból” meghatározott, hektáronkénti NPK tartalom értékeit.

Növény	Tarlómaradvány elemtartalma		
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Repce	11,09	3,36	70,56
Napraforgó	26,33	15,25	137,68

Az országos átlagnak megfelelő hozamszinten a tarlómaradványokkal a táblákon maradó NPK saját mérési eredményeim felhasználásával megállapított, a fenti táblázatban található értékek, illetve a Csathó és Radimsky (2005)* által a hazai szakirodalmi forrásokban közölt kutatási eredmények átlagolásával meghatározott NPK tartalmi értékek (lenti táblázat) alapján becsült mennyiségek mindkét növényfaj esetében hasonlóságot mutattak.

Növény	Főtermés			Melléktermés		
	N (%)	P (%)	K (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Repce	3,5	0,70	0,83	0,5	0,09	0,91
Napraforgó	2,4	0,52	0,83	0,5	0,13	2,91
Az országos termésátlag esetén fő- és melléktermés elemtartalma (kg/ha)						
Repce	73,5	14,7	16,8	21	3,8	38,2
Napraforgó	52,8	11,4	18,3	33	8,6	192,1
Fő- és melléktermés részesedése az összes elemtartalomban (%)						
Repce	77,8	79,5	30,5	22,2	20,5	69,5
Napraforgó	61,5	57,0	11,5	38,5	43,0	88,5

Forrás: Csathó és Radimsky (2005)

Ennek megfelelően elmondható, hogy a repce főterméssel a melléktermés P tartalmának átlagosan közel négyszeres mennyiségét szállítjuk el a területről, a N-hez hasonlóan. A napraforgó esetében a feltételezett hozamszinten kivont P mennyiségek kevesebb mint másfélszeres eltérést mutatva meglehetősen alacsony, 11,4 kg/ha, illetve 8,6 kg/ha értékek körül alakulnak. A P túlnyomó részt szerves vegyületek formájában található a növényi biomasszában, így a felvehető ionos formákban történő felszabadulása időben elhúzódó, a talaj mikrobiális aktivitásával szorosan összefüggő folyamat. Meg kívánom azt is jegyezni, hogy a mineralizáció során képződő ortofoszfát ionok a talajtulajdonságok függvényében számos lekötődési reakcióban vehetnek részt. A meszes talajokon például vízben nehezen oldható, illetve oldhatatlan kalcium-foszfátok (di-, tri- és oktokalcium-foszfát, apatitok), savanyú talajokon pedig vas- és alumínium-foszfátok képződésére, illetve a talajkolloidok pozitív töltésű helyein fellépő foszfát-adszorpcióra számíthatunk. E szempontok figyelembevételével jutottam arra a következtetésre, hogy a repce és a napraforgó tarlómaradványok a nitrogén esetéhez viszonyítva kisebb jelentőséggel bírnak a talaj P-készletének gyarapításában és az utóvetemény P-igényének kielégítésében.

A táblázat K-ra vonatkozó adatai ugyanakkor teljes mértékben alátámasztják Professzor úr véleményét, miszerint „a növénymaradványok jelentős mértékben hozzájárulhatnak a talaj K-készletének a

gyarapításához”. Amíg az adott hozamszinten a repce esetében az főterméssel kivont mennyiség kétszeresénél több K található a tarlómaradványokban (46 kg K₂O/ha), addig a napraforgó esetében ez az arány tízszeres, a napraforgószárban található K mennyisége pedig meghaladja a 200 kg K₂O/ha-t, ami az utóvetemény K-ellátásának biztosításában jelentős szerepet tölthet be.

*Csathó P. - Radimsky L., 2005. A magyar mezőgazdaság környezetvédelmi és agronómiai megközelítésű NPK tápelem-mérlege 1901 és 2000 között. Agrokémia és Talajtan. **54.** 217-234.

f) Tudástranszfer módszer kidolgozása a gazdálkodók környezeti és gazdasági tudatosságának vizsgálatára

Elismerem, hogy a kérdőíves kutatási felmérés kevésbé minősül új tudományos eredménynek, ugyanakkor módszertanában újszerű és specifikus, azon túlmenően, hogy a gyakorlati kapcsolatok megerősítésében és a kutatási eredmények gazdálkodói elterjesztésében fontos. Ennek fényében a dolgozatban ez a rész áttekintést és kitekintést biztosít az alkalmazott kutatás tudományos és gyakorlati szemléletű kapcsolatához.

Összességében hálás vagyok, hogy Professzor úr gondos, sok új, értékes tudományos eredményt tartalmazó értekezésnek tartja doktori disszertációm. Elfogadom, hogy Professzor úr, egyetértésben opponenstársaival, úgy véli, hogy eredményeim között új tudományos eredmények és módszertani eredmények is szerepelnek.

4. A védésen megválaszolandó kérdések

1. Vizsgálati eredményei alapján milyen arányokat tudna felállítani a hazai talajok esetében azok tulajdonságait negatívan befolyásoló természeti (időjárás, relief stb.) és antropogén hatások vonatkozásában?

Véleményem szerint a természeti tényezők (időjárás, relief, talajtípus) alapvetően meghatározzák a talajminőséget, ugyanakkor az antropogén hatások - főként a talajművelés módja, öntözés és műtrágyázás - jelentős mértékben fokozhatják vagy enyhíthetik a negatív változásokat. A természetes és antropogén hatásokat komplex kapcsolatukban kell mérni és értékelni. A víz- és a szélrózsió a talajtermékenységet gátló természetes okok között a legjelentősebb tényezők, az erózióval érintett területek aránya eléri hazánk összterületének 15,6%-át, ami a mezőgazdasági hasznosítású területek 45%-át teszi ki. Az erősen savanyú talajok (12,8%), a nagy homoktartalom (az ország 8%-án), valamint a szikesedés (8,1%) és a mélyebb talajrétegekben jelentkező szikesedés

(2,6%) is jelentős tényezők. Összességében a természeti tényezők által károsított talajok aránya 58% körül alakul, míg a nem a természeti tényezők által nem degradált talajok aránya 42%-ra tehető hazánkban. Mindössze 26% az olyan természetes vagy természetközeli állapotú talajok aránya, amelyekben antropogén hatások diagnosztikailag nem jelentkeznek. Az antropogén hatások közé tartozik az intenzív mezőgazdasági használat, erdőirtás, urbanizáció, vízháztartás szabályozás, talajszerkezet leromlása, talajsavasodás, talajszennyezés. A természeti hatások inkább az ország kevésbé urbanizált, erdős vagy speciális talajtípusú régióiban dominálnak, míg az antropogén behatások a városi, ipari és intenzív mezőgazdasági területeken nagyobb arányban vannak jelen. Az urbánus, illetve ipari régiókban, mint például a fővárosi agglomeráció, az antropogén hatások dominálnak, kiemelten az ipari tevékenység, a városi terjeszkedés, a közlekedés és a különböző forrásokból eredő szennyezések miatt. Ezeken a területeken a talajminőség romlása elsősorban emberi tevékenységekhez köthető. Vidéken, mezőgazdasági hasznosítású vagy erdős területeken, például Észak-Magyarország, Észak-Alföld és Dél-Dunántúl régióiban, a természetes földrajzi és éghajlati tényezők (pl. talajtípus, relief, vízforgalom) hatása jelentősebb, így a talajdegradáció itt inkább természeti eredetű. A dél-dunántúli régióban és Nyugat-Dunántúlon a természetközeli és erdős területek magas aránya miatt a természetes hatások kiterjedtek, míg a központi és északkeleti megyékben az intenzív mezőgazdasági művelés a meghatározó antropogén hatás. Az ország egyes területein, mint a homokhátságokon és szikes területeken, a természetes degradációs folyamatok (pl. szikesedés, erózió) is nagy jelentőségűek, míg a városi zónákban az antropogén hatások a döntőek.

Amennyiben egy adott termőhelyen kell sorrendet felállítanom a tulajdonságait negatívan befolyásoló természeti és antropogén hatások tekintetében, legjelentősebbnek az elkerülhetetleneket tartom, legkevésbé pedig azokat, amelyeknek a káros hatásait gátolni vagy enyhíteni tudjuk. Természetesen ezen hatások mértéke is befolyásoló tényező.

Saját vizsgálataim nem terjednek ki valamennyi, a talajtulajdonságokat negatívan befolyásoló természeti és antropogén tényezőre. Kutatási eredményeim és saját tapasztalataim alapján két tényezőt emelnék ki. A nagykovácskői, Közép-Tisza menti termőhelyeken a szikességet kevésbé tartom súlyos problémának, mint a talajok kötöttségét, illetve leromlott szerkezetét. Egyrészt azért, mert az erősen szikes területeket nem szabad szántóföldi művelésbe vonni (feltétlen juhlegelő), másrészt azért, mert a kevésbé szikes területeken racionális faj- és fajtaválasztással, okszerű talajműveléssel, esetlegesen talajjavítással, talajkondicionálással a növénytermesztés sikere biztosítható, a káros hatások mérsékelhetők. A talajok kötöttsége klimatikus szempontból is fontos korlátozó tényező, konkrétan az öntözés szempontjából. Meteorológiai méréseink azt mutatják, hogy az aszály káros hatása fokozódik. Ez elsősorban nem az aszályos időszakok gyakoriságának

(aszály eddig is volt), hanem az aszály mértékének és időtartamának növekedésében érhető tetten (pl. forró napok számának a növekedése). Az utóbbi 2-3 évtizedben az Alföldön, az éves középhőmérséklet emelkedése (0,5-2 °C) mellett, a csapadék mennyiségének változatlansága vagy csökkenése figyelhető meg tendenciózan. A magasabb hőmérséklet magasabb potenciális evapotranszpirációval jár, azaz a növények klimatikus vízigényét csak több víz biztosításával lehetne kielégíteni. A gyakorlatban azonban a kötött talajok öntözése számos problémával terhelt, talán elég csak annyit megemlíteni, hogy a gyökérzóna vízkészletét öntözéssel növelni szinte lehetetlen egy rossz vízbefogadású talajban. A kedvezőtlen szerkezet kedvezőtlen hő-, levegő- és vízforgalmat eredményez, ami negatív hatással van a talaj fizikai, kémiai és biológiai folyamataira, így közvetve a növényi életfeltételekre is.

A klímaváltozás negatív hatása megkérdőjelezhetetlen. Természetesen a mezőgazdasági termesztés technológiák fejlődése némiképp mérsékelni tudja a káros hatásokat, mindazonáltal, ha nem is termésdepresszióban, de a terméshozamok nagyobb ingadozásában tetten érhető a klímaváltozás káros hatása. Saját, 50 évre kiterjedő számításaink szerint, a magyarországi kukoricatermés ingadozásának akár 60–80%-a is magyarázható a kritikus időszakok időjárásával (Huzsvai et al., 2020)**.

**Huzsvai, L.; Zsembeli, J.; Kovács, E.; Juhász, Cs. 2020. Can technological development compensate for the unfavorable impacts of climate change? Conclusions from 50 years of maize (*Zea mays* L.) production in Hungary. Atmosphere 11: 1 Paper: 1350 , 21 p.

2. Milyen jelentőséget tulajdonít a talajok biológiai folyamatainak azok fizikai és kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatásaiban? Milyen szerepet tölthetnek be a különböző talajbiológiai készítmények a jövőben?

A talajokban lejátszódó biológiai folyamatok jelentőségét mintegy előre jelzi az a tény, hogy a biológiai faktorok képezik a talajképző tényezők egyik meghatározó csoportját. A talajképződés a talajképző közet fizikai és kémiai mállási folyamataival indul el, majd a körülmények kedvezőbbé válása utat nyit a felszíni réteg különböző pionír élő szervezetek, autotróf baktériumok, cianobaktériumok, algák, majd gomba, moha és zuzmófajok általi kolonizációnak. E folyamat együttes ökológiai jelentősége a szervesanyag akkumuláció megindításában (N- és C-kötés), a felszín stabilizálásában, szerkezetességének kialakításában (exopolimerek, alga- és gombafonalak, humusz vegyületek stb.), a víz- és szélerezírozással szembeni érzékenységének mérséklésében, a vízbefogadó és víztároló képességének, illetve a tápanyagkészleteinek növelésében rejlik. Idővel megteremtődnek a magasabb rendű növényfajok és állati szervezetek megtelepedésének feltételei

is. A szárazföldi területek felszínközeli rétegében képződő, a környezeti tényezőkkel folyamatos kölcsönhatásban lévő talajok közös jellemzője, hogy a bennük lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatok dinamikus rendszerének köszönhetően számos kémiai elem (elsősorban esszenciális és egyéb tápelemek), anyag (pl. víz, szervesanyag stb.) sajátos, a termékenységekben manifesztálódó körforgalmának, illetve áramlásának (beleértve az energiaforgalmat is) színterét képezik.

A talajban élő szervezetek az élettevékenységük révén közvetlenül, illetve közvetve, a termelt, illetve transzformált anyagok révén befolyásolhatják a talajok egyes fizikai, illetve kémiai tulajdonságait. A fizikai tulajdonságok közül a talajaggregátumok képződését és a talajszerkezet kialakulását említem elsőként, amely folyamatokban a talajban élő mikroszervezetek által termelt exopolimereknek (főként fehérjék, szénhidrátok, lipidek), a tevékenységük révén képződő humuszvegyületeknek, a fonalas szerveződésű alga és gombafajoknak, valamint a makrofauna egyes képviselői (pl. gyűrűsférgek) által termelt nyálkaanyagoknak tulajdonítható jelentős szerep a különböző szeretlen kolloidok (pl. agyagásványok, Fe- és Al-hidroxid komplexek) mellett. A szerkezetességgel összefüggésbe hozhatók a talajok porozitásviszonyai, illetve levegő- és vízgazdálkodási tulajdonságai is. Ez utóbbiak közül a talajok vízbefogadó, vízvezető és víztartó képességét szeretném kiemelni, amelynek kedvező befolyásolásában a már említett mikroflórán túlmenően a talaj makrofauna egyes képviselőinek (pl. gyűrűsférgek, rovarok, talajlakó gerincesek), illetve a magasabbrendű növények gyökérzetének szerepe sem elhanyagolható. A kedvező szerkezetességgel, porozitási viszonyokkal és szervesanyag tartalommal rendelkező, intenzív biológiai aktivitású talajok vízgazdálkodási tulajdonságai jóval kedvezőbbek, mint a hasonló mechanikai összetételű fizikailag degradált, elporosodott, tömörödött talajoké. Ebből adódóan a lehulló csapadék talajba szivárgása és a talajszelvényen belüli mozgása kevésbé akadályozott, a felszínen elfolyó víz mennyisége mérsékeltebb, így növények vízigényének kielégítésére nagyobb készletek állhatnak rendelkezésre. A kedvezőbb vízhasznosulás lehetőségének jelentősége a zajló klímaváltozás következményeinek tükrében napjainkban egyre inkább felértékelődik. A kedvező talajszerkezet bizonyos határon belül fontos szerepet játszik a talajok erózióra, tömörödéssé, a felszíni réteg porosodására és cserepedésére való hajlamának mérséklésében is.

A talajbiológiai folyamatoknak a talajok kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatásai közül a feltalajban bekövetkező szervesanyag felhalmozódást tartom meghatározónak. A talajban lejátszódó, hosszabb időtávon nettó pozitív szaldójú C-(kör)forgalom végső soron a szervesanyag képződés, illetve lebontás komplex, ismétlődő és egymással párhuzamosan zajló folyamatláncolatának tekinthető, amely folyamatok a talajban vagy a talajon élő fotoszintetizáló szervezetek (cianobaktériumok, algák, mohák, harasztok, hajtásos növények), valamint az elhalt szervesanyag fizikai felaprózását, illetve kémiai lebontását (mineralizáció) végző állat, gomba és

baktérium fajok élettevékenységének bonyolult kölcsönhatás rendszerében valósulnak meg. Mivel a képződő szervesanyag jelentős mennyiségű növényi tápelemeket tartalmaz, a képződési, illetve lebontási folyamat együttese egyúttal a különböző tápelemek talajbani forgalmának, illetve mobilizációjának is meghatározó részét képezi.

Ezen túlmenően a biológiailag aktív talajokban nagyobb mennyiségben képződő szerves kolloidok jelentős mértékben növelik a talajok kationcsere kapacitását. Ez több fémes tápelem kation adszorpciójára ad lehetőséget, ami az esetleges lekötődési, illetve kilúgzási veszteségek mérséklése révén pozitívan befolyásolja a növények számára könnyel felvehető tápelemek mennyiségét. Itt szeretnék említést tenni a talajokban szabadon élő egyes cianobaktérium (pl. *Nostoc*), illetve baktérium (pl. *Azotobacter*, *Clostridium*, *Azospirillum*) fajok N-kötésének (5-30 kg N/ha) szerepéről a talajok N-szolgáltató képessége, illetve a növények N-ellátása terén, különös tekintettel az ökológiai gazdálkodás sajátos viszonyaira.

Végül, de nem utolsó sorban a biológiai tényezőknek a talajban nem felvehető ásványi formákban jelen lévő tápelemek feltárásában betöltött szerepét szeretném megemlíteni. A növényi gyökerek például az aktív felületük környezetében az általuk termelt szerves savak révén lokálisan képesek a talajoldat kémhatását olyan mértékben elsavanyítani, ami már lehetővé teszi egyes ásványi vegyületek oldódását és a tápelemtartalmuk növények általi felvételét.

A talajbiológiai folyamatok, a talajfizikai és talajkémiai folyamatokkal szoros összhangban, határozzák meg a talaj minőségét, szerkezetét és tápanyag-szolgáltató képességét. A fent részletezett hatások miatt a biológiai folyamatokat kulcsfontosságúnak tartom a talajok egyes, a termékenység szempontjából kiemelkedő jelentőséggel bíró fizikai és kémiai tulajdonságainak hosszú távú fenntartásában és javításában.

Meg kell ugyanakkor jegyezni, hogy az adott talajban uralkodó fizikai és kémiai körülmények visszahatnak a biológiai folyamatokra. E rendkívül kölcsönhatás rendszer dinamikus működése - bizonyos határok között - a változó környezeti feltételekhez történő adaptációs képességet biztosít a talajok számára.

A talajbiológiai készítmények alkalmazásának alapvető céljai a talaj biológiai aktivitásának serkentése a talajban található hasznos mikroorganizmusok (kívülről bevitt vagy a már ott található – az utóbbiban jobban hiszek) számának növelésével, a talajszerkezet javítása pl. a szerves maradványok (pl. tarló) intenzívebb lebontásával, a növénytáplálás támogatása talaj és a mikrobióta közötti biológiai rendszer harmonizációjával, illetve növényvédelem segítése pl. a kártevő gombák biológiai úton való visszaszorítása. Ezek a termékek segítenek a szerves anyagok lebontásában, elősegítik a tápanyagok felvételét, növelik a hasznos mikrobák számát, és hozzájárulhatnak a

kártevő gombák viaszorításához, így támogatva a növények egészséges fejlődését és a talaj biológiai egyensúlyát.

A mikrobiológiai készítmények használata a talaj szervesanyagának bontását és az őshonos mikroflóra stimulálását is elősegíti, így hozzájárulnak a talaj minőségének és élettani állapotának javulásához, különösen olyan területeken, ahol a szerves trágya használata korlátozott. A talajélet visszaállítása mikrobiológiai készítményekkel növeli a gyökérnövekedést és javítja a talaj biológiai aktivitását, ami hosszú távon fenntarthatóbb termelést eredményez.

A talajbiológiai készítmények jövőbeni lehetőségei jelentősek és ígéretesek a fenntartható mezőgazdaság és a földművelés (nem véletlenül használom ezt a kifejezést) területén. Ezek a készítmények hozzájárulhatnak a talaj mikrobiális életének helyreállításához, a növények tápanyagellátásának optimalizálásához, a növények betegségekkel szembeni ellenállóságának, valamint a termés hozam növeléséhez és a termésminőség javításához. Új fejlesztések például az endospórás baktériumokat tartalmazó készítmények, amelyek csökkentik a kórokozók terjedését. Az új és specifikus biológiai megoldások különösen fontosak az ökológiai gazdálkodásban és támogatják a környezeti fenntarthatóságot is.

Meg kell említeni azt is, hogy a talajbiológiai készítmények alkalmazása magas szaktudást igényel, ebben a tekintetben a növényorvosok (de lehetnének akár talajorvosok is) szerepe várhatóan erősödni fog a jövőben. Fontos, hogy a mikrobiális készítmények hatékonyak és felhasználóbarátok legyenek. A gazdálkodókat elsősorban a rövid távon is látható gazdasági előnyök érdeklik, de ugyanakkor fontosnak tartom a hangsúlyozottan termőhely-specifikus, hosszú távú vizsgálatokat és fejlesztéseket (lásd tartamkísérletek!) a talajbiológiai készítmények tartamhatásának, a talaj termékenységének fenntartásában betöltött szerepének a tudományos igényességű számszerűsítéséhez.

Összességében, véleményem szerint, a talajbiológiai készítmények egyre fontosabbak lesznek a fenntartható mezőgazdaságban, a talaj egészségének megőrzésében és a globális termelési kihívások kezelésében.

Tisztelettel köszönöm még egyszer a részletes, alapos bírálatot, mely jelentős iránymutatást ad jövőbeli kutató és kutatásirányítási munkámhoz. Kérem, hogy álláspontját változatlanul fenntartva, javasolja az MTA doktora cím odaítélését.

Karcag, 2025. 11. 02.



Zsembeli József