

SZAKDOLGOZAT

Zentai Boglárka

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Kertészettudományi Intézet

Kertészmérnöki alapképzési szak

**Zöldtrágyázás hatása a talajok szerves szén- és
nitrogéntartalmára**

Belső konzulens: Dr. Juhos Katalin
docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet
Agrárkörnyezettani Tanszék

Készítette: Zentai Boglárka

Budai Campus

2025

1. Tartalom

1. Tartalom	1
2. Bevezetés	2
3. Szakirodalmi áttekintés	4
3.1. A talaj funkciói az agrárökoszisztémában	4
3.2. A talajok szervesanyag-és nitrogénforgalma.....	5
3.2.1. A szerves szénkészlet változásai	6
3.2.2. A talajok nitrogénforgalma.....	7
3.2.1. C/N aránya és ennek változása	10
3.3. Szervesanyag-mennyiségének befolyásolási lehetősége	11
4. Alkalmazott módszerek	15
4.1. Kísérlet leírása	15
4.2. Vizsgálati terület bemutatása	16
4.3. Laboratóriumi vizsgálatok	17
4.3.1. POXC mérés	17
4.3.2. Összes szerves szén.....	19
4.3.3. Amino-Nitrogén mérése	20
5. Eredmények és értékelésük	21
5.1. POXC mérés eredményei	21
5.2. TOC és POXC arányai	23
5.3. Amino-Nitrogén	24
5.4. Amino-N és POXC viszonyai	25
6. Következtetések és javaslatok.....	27
7. Összefoglalás.....	29
8. Hivatkozások.....	31
9. Táblázatok és ábrák jegyzéke	33

2. Bevezetés

Napjaink társadalmának számos nehézséggel kell szembenéznie többek közt a népesség nagymértékű növekedésével és a klímaváltozással. Ezekhez a kihívásokhoz valamilyen módon alkalmazkodnunk kell. Gyakran azonban a népességnövekedéssel járó problémák felülírnak számos más szempontot például a természeti erőforrásaink védelmét vagy a klímavédelmet. Az élelmezés nehézségei és fontossága miatt egyre inkább előtérbe kerül egy fontos természeti értékünk, a termőtalaj.

A talaj a földi élet szerves alapját képezi. Noha a talajképződés egy olyan folyamat, ami napjainkban is történik, nem emberi léptékben számíthatunk az eredményeire. Amellett, hogy a talajképződés lassú, az emberi tevékenység és az általa növelt erózió csökkenti ezt az erőforrást mennyiségileg és élettartam szempontjából is. A talajok élettartamára nemrégiben már becslések is készültek, amelyekhez kapcsolódóan drámai képet kaphatunk mind az erózió okozta élettartam csökkenésről mind a talajvékonyodásról kiterjedtségéről. Evans (2020) számításai arra is rávilágítottak, hogy ez egy globális probléma, ami a legnagyobb élelmiszer-termelő országokat is érinti, illetve, hogy a talajtakarásnak és a talajkímélő művelésnek mekkora hatása lehet.

A jövőben tehát minél inkább szem előtt kell tartanunk, hogy változtatásokat kell eszközölnünk az élet különböző szintjein, kezdve a fogyasztói kultúra diktálta szokásoktól egészen addig, hogy hogyan állítjuk elő az élelmiszert és miként tekintünk arra. A nyilvánosságban még egy kevésbé tárgyalt aspektus az, hogy a növénytermesztésben szintén új hozzáállásra, technológiákra, vagy legalábbis korrekciókra lesz szükség. A régi szokások, módszerek ahogyan a nagyapáink is természetek, már nem fognak kielégítő választ adni korunk problémáira.

A talaj szervesanyag-készletének megóvása több szempontból kiemelten fontos. Egyrészt a már említett népességnövekedés által igényelt intenzívebb termesztéshez nagyobb biztonságot nyújt az élelmiszer-termelés során. Ugyanakkor nem elhanyagolható, hogy segítségével talajaink jobban tudnak a változó éghajlati viszonyokhoz, például extrém esőzések, hosszabb szárazságok, alkalmazkodni, ami még az erózió elleni harcban is támogatást jelent (Chenua, et al., 2019).

A talajok tárgyalása nem csupán az élelmiszer-termelés, hanem az üvegházhatású gázok kibocsátása kapcsán is elkerülhetetlen. A talajlégzés során számottevő CO₂ juthat vissza a

légkörbe (Szöllősi, et al., 2009). Ennek mérséklése szintén kapcsolódhat a talajműveléshez és a szervesanyag-növeléshez (Mühlbachová, et al., 2023).

Ezen okok miatt kiemelten fontos, hogy megfelelően, tisztelettel bánjunk ezzel a földi életünk szempontjából nélkülözhetetlen erőforrással.

Változtatásra tehát szükség van. Dolgozatomban ennek egy lehetséges lépését vizsgálom. Egy általam vizsgált gazdaságban azzal próbálják javítani a talajok állapotát, egész pontosan a szervesanyag-készletek nagyságát, hogy egy-egy területen borsót és vegyes zöldtakarmány keveréket alkalmaznak takarónövénynek. Több alkalommal történt mintavétel a területről, illetve referencia minták is rendelkezésemre álltak. Az minták egy részének feldolgozásában én is részt vettem, mely során az aktív szén és az összes széntartalom laboratóriumi mérését végeztem el. Az általam elvégzett kísérleteken kívül más vizsgálatok eredményei is elérhetőek a területről. Így célom ezeket felhasználva következtetést levonni, hogy ennél az adott természetnél milyen hatásai vannak a borsó és a vegyes zöldtakarmány keveréknek a talaj szervesanyag és nitrogén készleteire.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. A talaj funkciói az agrárökoszisztémában

Mindenekelőtt tisztázni kell, hogy mi is a már a bevezetésben is említett talaj. A Föld kérgének legkülső szilárd burka, mely termékeny és ezáltal a növények termőhelyéül szolgál, nevezhető talajnak. Számos feladata van, ezek közül azzal, hogy tápanyagot, vizet továbbá biomasszát biztosít, elsőként a termőhelyként betöltött funkciója jut eszünkbe. A növényi élethez szükségeshez vizet, energiát és tápanyagokat raktározni is tudja. Nem elhanyagolható az sem, hogy a növények mellett számos más élőlénynek ad otthont, így a biodiverzitásban betöltött szerepe is óriási (Cserni, 2004).

A növények a nap energiáját alakítják át kémiai energiává. Az ezáltal kialakult biomassa vagy az elhalt növényi részek, az azt elfogyasztó állatok vagy utóbbiak ürüléke révén visszajut a talajba. Így a sugárzási energia végül humuszként tud raktározódni és szolgál a későbbiekben energiaként a talajban lakó mikrobáknak és egyéb folyamatokhoz. Természetesen ezekből kifolyólag anyag és energiátranszformátori szerepe is van és az elemek biogeokémiai ciklusának fontos helyszíne is.

Megemlítendő a talajnak pufferközegként játszott feladata is, mert átalakítani, megkötni is tud bizonyos mértékig anyagokat például, ha egy adott anyagból túl sokat juttattunk ki (Várallyai, 2005).

Ebből a széles funkcionalitásból eredően az emberiség történelme már régóta egybefonódik a talajjal egész pontosan azzal, hogy keresi és használja az értékes termőterületeket. Mivel a növénytermesztéshez, az állattenyésztéshez és ezek által az élelmezéshez általában nélkülözhetetlen, az emberiség igyekszik még inkább növelni a talajok termelékenységét. Ezen beavatkozások közé lehet sorolni például a talajművelést, öntözést, vegyszerek használatát, trágyázást, amelyek nélkül ma már a legtöbb esetben elképzelhetetlen a modern növénytermesztés. Ezek a beavatkozások a talaj tulajdonságait és ezáltal, hogy miként látja el a fent leírt funkcióit, leginkább negatív irányba módosítják (Kovács, 1975). A növénytermesztéssel önmagában kinyitjuk a természetes, zárt biogeokémiai ciklust azáltal, hogy nagymennyiségű biomasszát viszünk el és azt egyáltalán vagy nem megfelelő mértékben pótoljuk.

Az ember által indukált direkt hatások mellett a környezeti elemek, szél víz is hozzájárulnak a talajok pusztulásához, valamint más folyamatok is rontják a tulajdonságait. Az emberi tevékenységek pedig ezeket a folyamatokat sokszor felerősítik, mert például védtelenül hagyjuk a talajt vagy nem megfelelő időjárási körülmények közt műveljük. Magyarországon a fizikai talajdegradáció különböző mértékben van jelen. A hazai talajok 23%-a gyengén, 18%-a közepesen és 13%-a erősen érintett a fizikai degradációs folyamatokban, ez összességében a talajaink több mint felét jelenti (Farsang, 2011).

A talajok és velük együtt a különböző fontos feladataik több évszázad, évezred alatt alakulnak ki. A talajképződés hosszú folyamatát számos környezeti tényező, köztük olyanok, amelyekre nincs vagy nagyon kevésbé van hatásunk, befolyásolja. Ezek indikálják a talajképződés bonyolult folyamatát, ami végső soron a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaihoz fognak vezetni. A folyamatok közül kettő kiemelt szerepet játszik a szervesanyagok körforgásában, az egyik a humuszosodás, aminek révén a talaj stabil szervesanyagokkal, humusszal gazdagodik és a mineralizáció, amely során pedig a szervesanyagok bomlása történik.

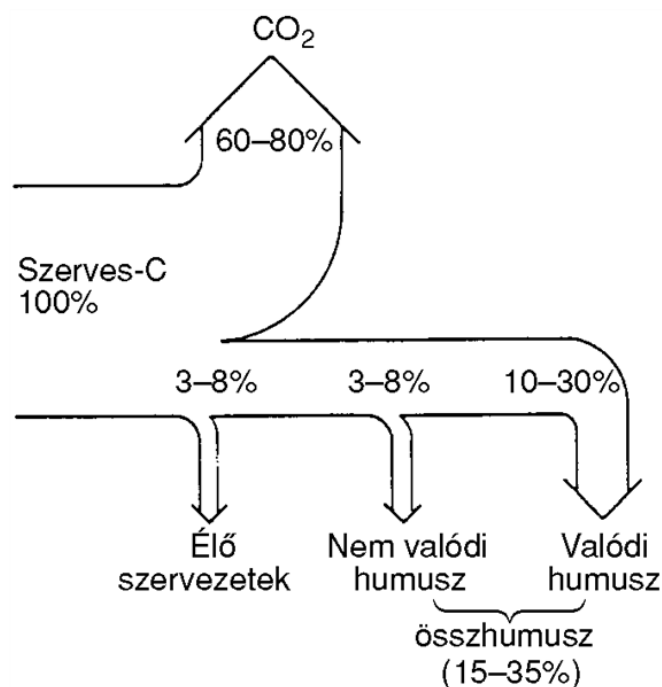
3.2. A talajok szervesanyag-és nitrogénforgalma

A talaj összetételének vizsgálatakor megállapíthatjuk, hogy háromféle halmazállapotú alkotót különböztethetünk meg úgy, mint levegő, víz és szilárd fázisú elemeket. A víz relatív aránya 30-45%, levegő aránya 5-20%, ezt a két fázist hívjuk pórusternek, a szilárd fázis pedig 43-45%-ot tesz ki. Utóbbi egy kis része a szerves anyag, ami a teljes rendszer térfogatának az 5-7%-a. Az alkotó arányát sok dolog tudja befolyásolni, például a művelés hatására tömörödhet és ezáltal a póruster aránya, csökken. A talajban található szerves anyag jelentős részét az elbomlott, elhalt maradványok, bomlástermékek teszik ki, ez összesen a szerves rész 85%-a, ezenfelül növényi gyökerek 10%-ban és talajflóra és- fauna 5%-ban, amely részt talajlakó állatok, baktériumok és gombák alkotják még (Filep, 1988). A szerves anyag bázis nagy része a növényi alkotókból ered, az állati termékek, szervezetek kisebb szerepet játszanak az utánpótlásban, de az átalakításban, feldolgozásban annál inkább.

A talajlakó élőlények jelenléte és munkája rendkívül fontos méghozzá azért, mert aktív szerepet vállalnak a talajképző folyamatokban. A mikrobák vesznek részt a mineralizációban, amely során a talajba került szerves anyagokat bontják le és alakítják át ásványi anyagokká, amik később újra felvehetőek lesznek a növények számára. A mikrobák száma csökken intenzív,

sok bolygatással járó talajművelés esetén főleg, ha a szerves anyagot nem pótoljuk megfelelőképpen és mindig csak elveszük, elszállítjuk a talajról. A giliszták szerepe is kiemelt, mivel a talajban való közlekedésük révén járatokat készítenek, ezáltal a porozitást javítják, továbbá a növényi maradványokat aprítják és szállítják is.

Összefoglalva tehát, a növényi maradványt először a nagyobb élőlények aprítják fel, szállítják el. A biokémiai fázis alatt a nagyobb molekulájú polimerek kisebbekké alakulnak át. Végezetül pedig ahhoz, hogy egyszerű ásványi anyagokká alakuljanak a szerves vegyületek enzimekre van szükség. Ez utóbbi levegős, tehát aerob körülmények között például CO₂-ot eredményez, ez a talajlégzés folyamata, továbbá vizet és tápelemeket is szolgáltat. A talajba jutó szerves szénnel ennél fogva többféle folyamat zajlik le és emiatt más anyagokká alakul át. Az 1. ábraán látható, hogy százalékosan, hogy oszlik meg a CO₂, humuszanyagok és élőszervezetek között a szerves szén.



1. ábra A talajba jutó C-tartalom megoszlása (Stefanovits, et al., 1999)

3.2.1. A szerves szénkészlet változásai

A talaj szerves szénkészlete három nagy csoportba osztható az alapján, hogy mennyire stabil formájú, illetve milyen gyorsan alakul át, válik felvehetővé. Eszerint beszélhetünk labilis, lassan átalakuló és stabil széntartalomról is. Az eltérő részek más funkciókat látnak el, más szempontból fontosok, illetve más szénformák alkotják.

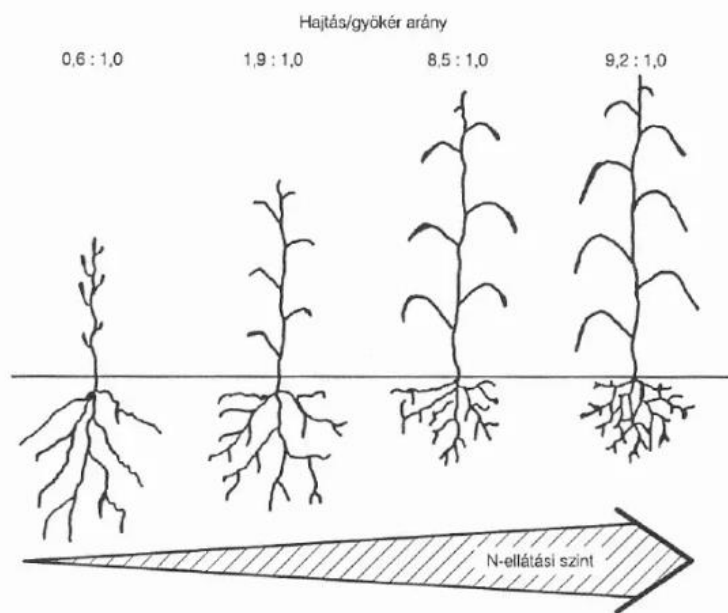
A labilis rész hamar lebomlik, ebből ered a neve, relatív gyorsan mineralizálódik és válik a növények számára felvehető tápanyagokká. Ezen felül ebből a készletből tudnak a mikrobák is táplálékhoz, energiához jutni. Továbbá a talaj termékenységéhez is nagy mértékben ez a készlet járul hozzá. Ez a készlet növelhető a legkönnyebben, gyorsabban, de ez tud elsőként csökkenni is, valamint például érték változásán akár az évszakok hatása is detektálható.

A lassan aktivizálódó közepesen stabil részbe tartoznak a humusz anyagok, ezek szintén a talajtermékenységet befolyásolják. A stabil széntartalom akár több évszázados is lehet, állandó alkotóeleme a talajnak (Chan, et al., 2010).

A talaj szénkészleteinek tárgyalásakor meg kell említeni a rizodepozíció jelenségét. A növények gyökerei különböző szerves anyagokat választanak ki, tehát juttatnak be a talajba. Ezzel a folyamattal a növények serkenteni tudják a mikrobiális aktivitást és hozzájárulnak a tápanyag mobilizációhoz. A rizodepozíció révén növelhető a labilis szénkészlet ugyanakkor a hosszútávú széntárolás is befolyásolható azáltal, hogy a stabil szénkészletekhez is hozzájárul. Ez az irány kétféle módon tud bekövetkezni. A rizodepozíciós szén erős kémiai kötések révén összekapcsolódhat agyagásványokkal így alkotva organominerális komplexet vagy pedig mikroaggregátumokba záródhat. Utóbbi során fizikai védelem alakul ki, mivel a mikroaggregátumokba korlátozottan jut be oxigén és ezáltal nem férnek hozzá a szénhez a mikrobák (Wang & Gu, 2023).

3.2.2. A talajok nitrogénforgalma

A növények számára nélkülözhetetlen tápanyag a nitrogén, a talajban található és ezáltal a növények számára felvehető mennyiség túl kevés és túl sok esetben is káros hatásokat fog okozni. Az egyes növekedési szakaszokban kialakuló nitrogénhiány más és más problémákat fog okozni a növények számára, például korai szakaszban szervképződési zavarok léphetnek fel (Fülek, 1999). A nitrogén fontosságát mutatja a 2. ábra is, ahol látható a nitrogén hajtás növelő hatása.

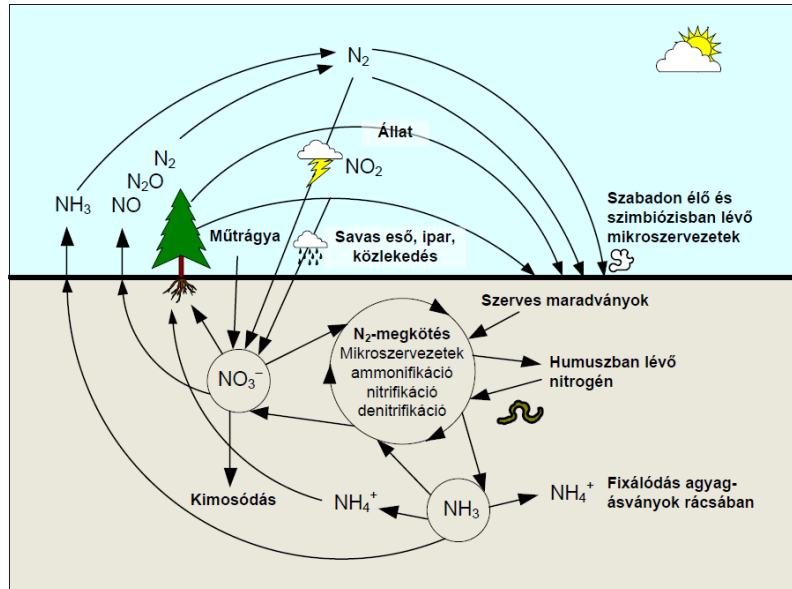


2. ábra Nitrogén mennyiség hatása a hajtás és gyökérnövekedésre (Fülek, 1999)

A nitrogén érdekessége, hogy nem a talajképző kőzetekből ered a talaj nitrogén tartalma, hanem a légköri nitrogént fogják a talajban található mikrobiális szervezetek felhasználni. Emiatt a nitrogéntartalom tárgyalásakor már egy geológiai körforgásról beszélünk, amelyben alapvető szerepet kapnak a mikroszervezetek. A szerves nitrogén és a szerves szén között szoros összefüggés van, ugyanis szerves kötésekben humuszanyagokban, elhalt növényi, mikrobiális maradványokban található a nitrogénnek a 95%-a. A szerves nitrogénnek ásványosodnia kell, így szerveslenné válik és a növények számára már felvehető lesz. Ez a szerveslenné nitrogénmennyiség azonban csupán pár százaléknyi értéket fog képviselni a teljes készletből. A nitrogén mineralizációjának három fő lépése van az aminizáció, az ammonifikáció és a nitrifikáció. A második lépés során szabadul fel ammónium ion (NH_4^+) míg a harmadik lépés során nitrit (NO_2^-) és nitrát (NO_3^-) alakul ki, amik létrejöttében specializálódott mikrobák vesznek részt. Ezek a lépései játszódnak le a mineralizációnak a hozzáadott szerves trágya esetében is, mert többnyire szerves nitrogént tartalmaznak (Weil & Brady, 2017).

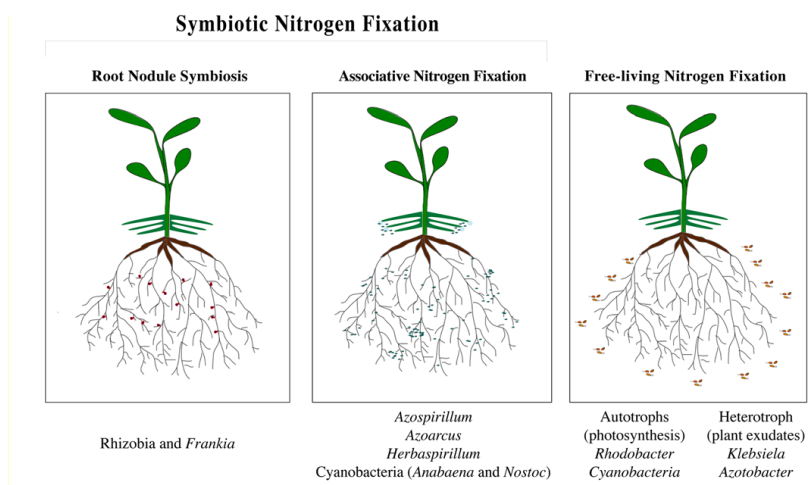
A szerves nitrogénből tehát a mikrobáknak köszönhetően az említett három lépésen keresztül kialakul a növények számára is felvehető ammónium ion és nitrát. Utóbbit veszik fel nagyobb mértékben a növények. Azonban nem minden esetben ez fog történni ezekkel a nitrogén formákkal, mert a nitrogén körforgásban is vannak a növények szempontjából veszteségek, ez látható a 3. ábraán. Aszerint, hogy milyen töltése van az ásványi nitrogénnek kimosódhat, vagy

fixálódhat az agyagásványok rácsában. A kimosódás mértéke igen nagy lehet, ezért ennek mérséklése már direktívák is születtek, hogy csökkentsék a túlzott műtrágya használat által keletkezett veszteségeket, amik a talajvizekbe kerülnek, mint szennyezőanyagok (Weil & Brady, 2017).



3. ábra A talaj nitrogén tartalmának körforgása (Füleky, 2008)

A nitrogén körforgásában még a légköri nitrogénkötés is szerepet játszik szabadon élő vagy szimbióta baktériumok által. Utóbbi kategóriába tartozhatnak az rhizobium baktériumok, melyek a pillangós növények gyökerein kialakuló gyökérgümőkben élnek. Emellett vannak szintén szimbiózisban, de nem gyökérgümőben, hanem a gyökérvonában élő asszociatív baktériumok is (Pankievicz, et al., 2019). Az egyes baktériumok növényekhez képesti életterét a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra Nitrogén fixáló baktériumok (Pankievicz, et al., 2019)

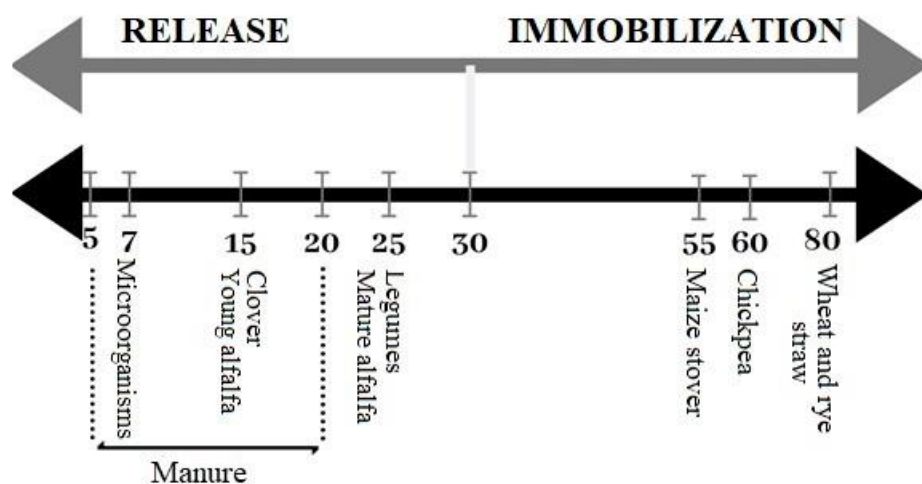
Egyes szimbioták jelentősen tudják növelni a talaj nitrogén inputját akár 73-865 kg/ha/év növekményt is realizálhatnak. Ennek megvalósítása pillangós növények termesztése révén történhet a gyakorlatban, például vetésciklus egyik elemeként vagy másodnövényként (Füleky, 1999).

3.2.1. C/N aránya és ennek változása

Az előző alfejezetben ismertetett folyamatokból látszik, hogy noha lehet sok nitrogén műtrágyát kijuttatni, az ásványi nitrogén mennyisége mégsem tud hosszútávon magas maradni. A fenntartható nitrogén-gazdálkodás kulcsa a megfelelő humuszmenedzsment lehet. A nitrogén laboratóriumi mérése is a humusz tartalomhoz kötötten történik, utóbbi mennyiségéből lehet a nitrogénellátottság értékére következtetni. Ezek következtében érthető, hogy gyakran használt arányszám a szén és nitrogén aránya a talajok esetében.

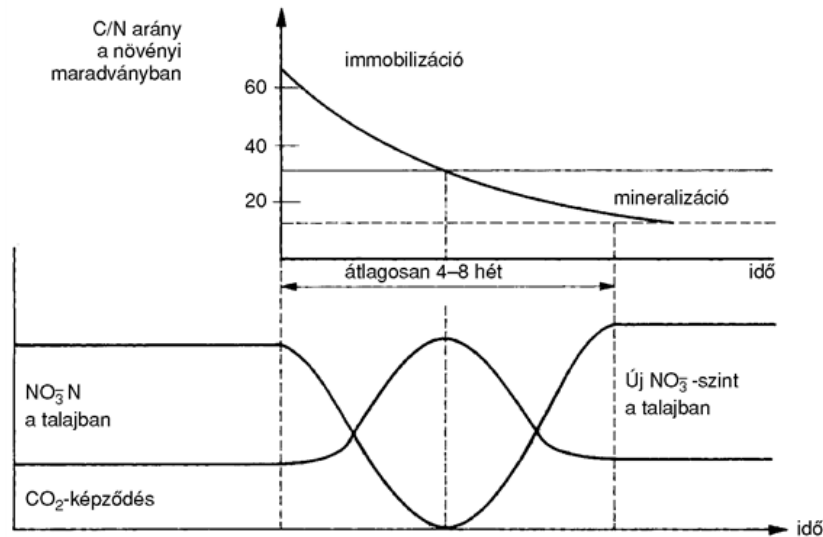
A szén és nitrogén aránya természetesen egy változó szám, nemcsak a talajon előforduló növényektől függ, de évszakos változást is megfigyelhetünk, valamint a talaj mélységének függvényében is változik, ezt támasztották alá (Demeter, 2021) vizsgálatai is.

Nemcsak a talajok esetében lehet a szén-nitrogén arányt használni, hanem a növények esetében is. Amennyiben 30-nál magasabb ez az arány, tehát sokkal több a szén, mint a nitrogén a növényben, például a kukorica, búza, rozs szármaradványánál, ahogy ez a 5. ábraán látható, akkor az csak nagyon lassan fog elbomlani.



5. ábra Néhány növény esetében a C/N arány értéke (Grzyb, et al., 2020)

Mivel ilyen szármaradványok esetében arányaiban nagyobb szén mennyiséget juttatunk a talajba, mint nitrogént, ezért a talajban lévő nitrát elkezd csökkenni. Ennek az az oka, hogy a mikrobáknak is szükségük van nitrogénre a maradványok lebontásához, azonban ebből nem juttatunk be megfelelő mennyiséget, így a talajban található készletekből fogják ezt pótolni. Ez a folyamat az immobilizáció, amikor a szerves kötésbe alakítják a nitrogént a mikroorganizmusok (Grzyb, et al., 2020).



6. ábra A talaj nitrát tartalmának és C/N arányának változása szervesanyag-bedolgozás hatására (Stefanovits, et al., 1999)

Ezt a magas szén-nitrogén arányú maradványnál lassú bomlást és ezáltal a nitrát csökkenést nevezzük pentozán hatásnak, ezt szemlélteti a 6. ábra. A teljes folyamat végén, ami kb. 4-8 hét, már a szármaradvány miatt megemelt nitrát tartalmat mérhetjük a talajban (Stefanovits, et al., 1999).

Tehát a pentozán hatás ellenére is érdemes a talaj szervesanyag- és nitrogénkészleteit növelni szármaradványokkal, mert a lehetséges átmeneti csökkenés után összességében növekménnyel számolhatunk. Ugyanakkor érdemes tisztában lenni a hatásmechanizmussal és az említett bomlási idővel és ennek figyelembevételével tervezni a gazdálkodást.

3.3. Szervesanyag-mennyiségének befolyásolási lehetősége

Ha növelni szeretnénk a talaj szervesanyag-mennyiségét, akkor azonosítani kell, hogy mi az, ami növeli és milyen tényezők csökkentik az össz mennyiséget. A szerves szén mennyiségének növelésére így két út adódik, lehetséges a bemeneti oldalt növelni vagy a veszteségeket csökkenteni.

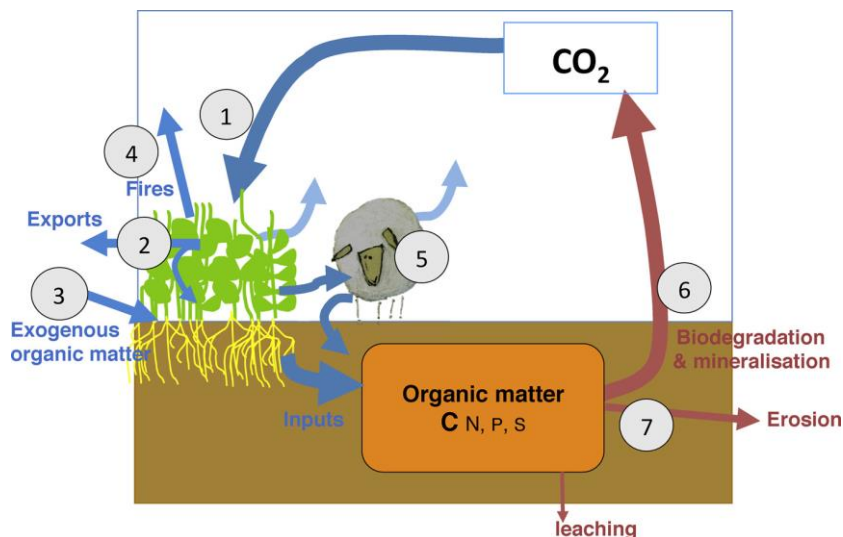
A bemeneti oldal növelésére egyik legkézenfekvőbb megoldás, ha több növényi inputot növeljük. Ennek már ma is széles körben alkalmazott lehetősége az, ha a tarló, növény maradványokat ott hagyjuk a talajon, ez azonban nem elegendő. A növényi inputok gyarapításakor fontos megkülönböztetni a talajfelszín feletti és alatti részeket, ugyanis utóbbi nagyobb mértékben járul hozzá a szerves szén mennyiségéhez. Ebből következik, hogy a gyökértömeg növelése egy kiemelten fontos szempont. Könnyen belátható, hogy többet veszünk el hagyományos művelés esetén azáltal, hogy a főnövényt elvisszük esetleg tarlót hagyunk, emiatt tehát takarónövényeket alkalmazása is indokolt. Utóbbi nem csupán szervesanyag-forrás, mulcsként is szolgál és a gyökerek lazító hatása is fontos.

Egy másik lehetőség a bemeneti oldal növelésére a zöldtrágya alkalmazása. Zöldtrágya alapanya lehet például fehér mustár, pillangós növények stb., ezeket talajba forgatják, ebből adódóan viszont nincs talajtakaró funkciójuk, de növelik a szervesanyag-készletet (Hargitai, 2004).

A bemeneti oldalt tudjuk még direkt módon szerves trágya kijuttatásával is növelni, ezenfelül a talaj nitrogén szabályozására is nagyobb hangsúlyt kell fektetni, figyelembevéve az előző megállapításokat is.

Egy érdekes szervesanyag-növelési megoldás lehet a vetéscserge ez irányú beállítása, ezáltal a vetéscserge számos mezőgazdasági kérdésre jelenthet megoldást. A vetéscserge és a biogazdálkodás azért jelenthet választ a tárgyalt kérdéskörre, mert mikrobák munkája jelentősen hozzájárul a szervesanyag-képződéséhez, illetve végső soron maguk a mikrobiális szervezetek is a szervesanyag-készletet fogják gyarapítani. Ezekben a termesztési rendszerekben pedig ezen szervezeteknek nagyobb a hatékonysága és a gyorsabban is képződnek. Egy kevésbé kutatott aspektus, de potenciálisan segíthet a biodiverzitás növelése is (Chenua, et al., 2019).

A veszteségek csökkentésére jó megoldás, ha a talajművelést kímélőbb módon végezzük vagy, ha egyéb módokon csökkentjük az erózió okozta károkat (Chan, et al., 2010). Utóbbi azért tud a szerves készletek megóvásáért tenni, mert az erózió a talaj felső rétegeit érinti, ahol a szerves anyagok mennyisége is jelentősebb.



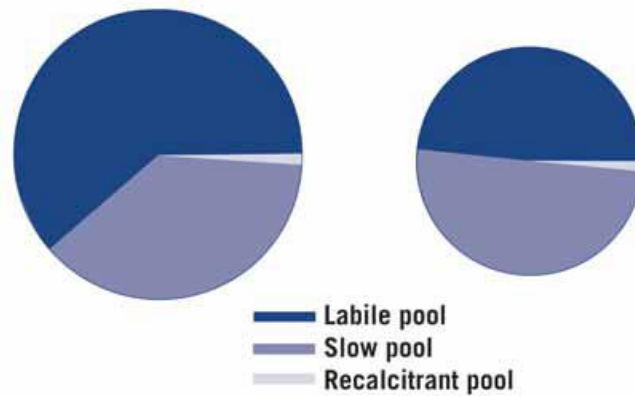
7. ábra Szerves szénkészleteket befolyásoló mezőgazdasági gyakorlatok (Chenua, et al., 2019)

A bemutatott termesztési gyakorlatok egy részét szemlélteti a 7. ábra.

A talajokban a szervesanyag-eloszlását több kutatás is vizsgálta, melyek eredményeképpen számos érdekes következtetést le tudtak vonni a kutatók. (Jobbágy & Jackson, 2000) vizsgálataiban erdő, cserjés és füves területek taljai esetén állapította meg, hogy a felső 20cm-es talajrétegben a szerves szénkészletek 50%,33% és 42%-a található. Fontos megállapításuk ezenkívül, hogy a talaj mélyebb 1-2m-es rétegeiben is található nagyobb mennyiségű szén. Következtetésként megállapították, hogy a fontos a gyökerek mennyiségi eloszlása a talaj mélységében jelentősen befolyásolja a szerves szén mélységi eloszlását.

A kímélő talajművelésnek több fokozata lehetséges, a csökkentett menetszámtól egészen a forgatás nélküli módig és hosszabb távon gazdasági előnyöket is jelent a környezeti szempontok mellett. A forgatásos művelés esetén a talaj mélyebb rétegeiben élő szervezetek feljebb kerülnek és az oxigéndúsabb, míg a felső rétegben élő mikroorganizmusok mélyebbre, ahol az oxigénben szegény környezet miatt pusztulnak el. Ezzel párhuzamosan az újonnan feljebb jutó rétegekben az aerob mikrobák szaporodnak el és kezdenek szervesanyag-bontásba. Ez a magyarázata annak, hogy hagyományos művelés esetében nagyobb a CO₂ kibocsátás és ezáltal csökken a szervesanyag-készlet is akár 30-50%-kal is (Szöllősi, et al., 2009).

A talajművelés hatása a talaj szénkészleteire jól látható az 8. ábraán, ami egy összehasonlítást mutat egy bolygatás nélküli (no-till) és egy hagyományos művelés esetén Ausztráliában. Megállapítható, hogy összességében csökkent a szén bázis a hagyományos kb. 60%-a kíméletes művelésű talajának és a fő csökkenés a labilis széntartalomtól adódott (Chan, et al., 2010).



8. ábra A szerves széntartalom megoszlása és aránya egy bolygatás nélküli (no-till) és egy hagyományosan művelt talaj esetében (Chan, et al., 2010)

Egy hasonló, de több vizsgálati paraméterre kiterjedő elemzés során hazai barna erőtalaj esetében hagyományos és 17 éve tartó talajkímélő művelés hatásait vizsgálták. A vizsgálatokból az derült ki, hogy a teljes szerves széntartalom szignifikánsan nőtt (5,22 t ha⁻¹ szerves-C növekedés), de emellett a labilis (28,3%), a vízdoldható (39,4%) és a mikrobiális biomassza széntartalom (177,4%) is jelentősen emelkedett. A növekvő szervesanyag-készletek mellett arra is következtettek a kutatók, hogy a művelési módbeli különbségek stabilizálják a talaj szénkészleteit (Juhos, et al., 2022).

Az említett számos gyakorlati lehetőségből nehéz eldönteni, hogy adott esetben melyiket érdemes alkalmazni, ha ténylegesen szeretnénk elkezdni megsokszorozni a talajban található szervesanyag-tartalmát. A választást befolyásolhatja számos dolog, például technikai rendelkezésre állás, anyagi megfontolások, megtérülési idő is. Főleg utóbbit tudja befolyásolni az, hogy a javítani kívánt talaj milyen lehetőségekkel rendelkezik, milyen tulajdonságai vannak és mekkora már meglévő szervesanyag-készlettel rendelkezik. (Merante, et al., 2017) azt a cél tűzték ki, hogy segítsenek a gazdálkodóknak abban, hogy melyik irány lehet számukra a kedvezőbb. Ehhez kidolgoztak egy úgynevezett n-potenciál értéket, ami tulajdonképpen az agyag tartalom és a szervesanyag-tartalom hányadosa. Ezen érték alapján létrehoztak öt kategóriát, amelyekhez adott gyakorlati módszereket társítottak. Az újonnan bevezetett indikátor választ ad arra, hogy növelhetjük-e még számottevően a talaj szénkészletét vagy pedig inkább a megőrzés, fenntartás felé kell törekednünk.

4. Alkalmazott módszerek

4.1. Kísérlet leírása

A szakdolgozatom készítésekor egy már korábban elindult kísérletsorozatba kapcsolódtam be. Egy Doboz községeiál található gazdaságban kettő táblán vizsgálták a talajon hagyott biomassza hatását. Az IND17 táblán vegyes zöldtakarmány keverék hatását vizsgálták, amiben volt pillangós növény is. Az egyik esetben (A) a természetett vegyes zöldtakarmányt lekaszálták, bálázták és elvitték az állattenyésztés számára hasznosítani. A másik esetben (B) ugyanezt a zöldtakarmányt kaszálták majd a biomasszát a területen hagyták mulcsként. Az IND31 táblán a természetett főnövény borsó volt, aminek szintén kaszálás után a területen hagyták a biomasszáját, hogy mulcsként védje a talajt és növelje a tápanyagtartalmát.

Az említett kezelések hatását többszöri mintavétellel próbálták feltérképezni. Az első mintavétel 2023.03.24-én történt, az utolsó pedig 2024 őszén, a kettő közt pedig még három alkalommal. Az egyes táblákat több kategóriára (I-IV) osztották humusztartalom függvényében, ahol I kategóriában kisebb (2,7-3,4%) a humusz mennyisége, míg IV kategóriában magasabb (4,4%<) és az egyes zónákban 3-4 mintavételezést végeztek el 0-25cm-es mélységben. Az IND17 tábláról kezeléenként és humuszkategóriánként 3db mintát, míg az IND31 tábláról 3 humuszkategóriát jelöltek ki és mindegyikből 4db mintát tehát összesen 24db plusz 12db pontmintát vettek a két tábláról.

Ennek köszönhetően időben és térben is több minta állt rendelkezésünkre a kezelések hatásait monitorozni. Emellett még kontroll területekről is vannak elérhető minták, ahol hagyományos, forgatásos műveléssel természetettek nem pillangós és nem vegyes zöldtakarmányt. A kontroll II. tábla abban tér el a kontroll I. táblától, hogy magasabb humusztartalommal rendelkezik, előbbi esetében 8db utóbbi esetén pedig 4 db pontmintát gyűjtöttek.

A kapott mintákon többféle vizsgálatot végeztek el, aminek egy részében én is részt vettem. A terület általános jellemzéséhez rendelkezéseimre állnak pH, szénsavas mész és Arany-féle kötöttségi szám mérésének eredményei. Ezen felül amino-nitrogén tartalom, valamint a szerves széntartalom összmenyiségének és az aktív széntartalomra vonatkozó mérések lettek elvégezve a mintákon. Utóbbi két vizsgálat sorozatba kapcsolódtam be és az ezekhez szükséges laboratórium munkákban segédkeztem.

4.2. Vizsgálati terület bemutatása

A különböző laboratóriumi vizsgálatok elemzése előtt érdemes megvizsgálni az terület talajának alap tulajdonságait. Ezek ismerete azért fontos, mert befolyásolhatják az egyes mérések során kapott eredmények megítélését.

A vizsgálat helyszíne Doboz, itt típusos réti talaj található. Jellemzője, hogy levegőtlenebb, nagyobb a nedvességtartalma. Vízgazdálkodása kedvező (nedves tavasz esetén lehet rosszabb), tápanyag-gazdálkodása pedig közepesnek mondható általánosságban.

Az 1. táblázat tartalmazza a két vizsgált táblának néhány alap paraméterét. Az adatokból látható, hogy a talaj kémhatása enyhén savas (5,23-5,82), a mésztartalom 0,05-1,25% közt változik, ami mészhiányos vagy gyengén meszes kategóriát jelent. Az Arany-féle kötöttségi szám 55 és 66,14 közt változik, ami az agyag vagy nehéz agyagos talajféleséget jelenti.

I/A	II/A	III/A	IV/A
pH = 5,23 K _a =55 CaCO ₃ = 0,05%	pH = 5,8 K _a =59,63 CaCO ₃ = 0,85%	pH = 5,82 K _a =61,88 CaCO ₃ = 1,25%	pH = 5,57 K _a =58,5 CaCO ₃ = 0,05%
I/B	II/B	III/B	IV/B
pH = 5,23 K _a =55 CaCO ₃ = 0,05%	pH = 5,8 K _a =59,63 CaCO ₃ = 0,85%	pH = 5,82 K _a =61,88 CaCO ₃ = 1,25%	pH = 5,57 K _a =58,5 CaCO ₃ = 0,05%

I/C	II/C	III/C
pH = 5,54 K _a =66,14 CaCO ₃ = 0,05%	pH = 5,25 K _a =61 CaCO ₃ = 0,05%	pH = 5,57 K _a =65 CaCO ₃ = 0,05%

1. táblázat Vizsgált táblák pH, Arany-féle kötöttségi tényező és szénsavas mész tartalma

Agyagos talajoknak nagyobb a vízkapacitása és ennél fogva kisebb a levegőkapacitása, amiből pedig az következik, hogy kevesebb oxigén áll rendelkezésre. Ez tudja magyarázni azt, hogy lassabb a mineralizáció is ilyen talajok esetén. Általánosságban lehet számítani, hogy a különböző javító termesztési praktikák eredménye lassabban nehezebben lesz látható, ugyanakkor tovább fejtik ki hatásukat, nagy a kapacitása az ilyen talajoknak. Agyag talajok esetében a nitrát kimosódás is kisebb mértékű probléma lehet.

A nitrogénmineralizáció folyamatára is több tényező van hatással ezek közül az egyik a pH érték. Ez a kapcsolat abból ered, hogy a mikroorganizmusok jelentős része a talaj savanyúságára érzékeny, így ezek semleges vagy lúgos kémhatású talajban fordulnak elő

nagyobb számban (Győri, 1984). Így tehát az erősen anyagos textúra mellett a savanyúságot is szem előtt kell tartani az eredmények értékelésekor.

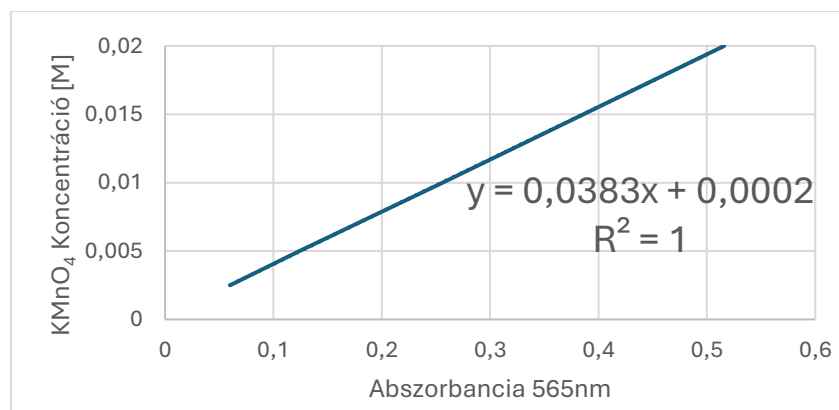
4.3. Laboratóriumi vizsgálatok

4.3.1. POXC mérés

A bemutatott vizsgálódásban arra vagyunk kíváncsiak, hogy vegyes zöldtakarmánynak és borsó termesztésének, majd mulcsként a területen hagyásának milyen hatásai vannak a talaj szervesanyag-készleteire. Ennek kimutatására jó módszer a labilis széntartalom egy részének, az aktív szénnek a mérése, ugyanis ez jól használható a talaj tulajdonságok, talaj minőség indikátoraként (Bongiorno, et al., 2019). Ennek egyik oka, hogy ez a készlet kifejezetten érzékeny a talajgazdálkodás hatásaira és gyorsan detektálhatóak rajta a pozitív vagy negatív változások.

Az aktív szerves széntartalom mérését (Weil, et al., 2003) alapján végeztük el. Ennek a módszernek több előnye is van a korábban alkalmazott eljárásokhoz képest. Ebben az egyszerűsített eljárásban híg, enyhén lúgos kálium-permanganát oldatot használunk, szemben a korábbi tömény, terepen nehezen kezelhető oldatokkal, ami a szerves szénkészlet legaktívabb részével lép reakcióba. Az így kapott oldat fényelnyelése arányosan csökken a reagált, oxidált szén mennyiségével. A terepi használhatóságot növelni lehet azáltal, hogy CaCl_2 -ot adunk a mintákhoz az ülepedést elősegítendő, így elkerülhető a centrifugálás.

A műszerről leolvasott számok viszont még nem az aktív szén mennyiségét adják meg, ahhoz még néhány művelet elvégzése szükséges. A spektrofotométerrel a megmaradt kálium-permanganát mennyiségét mérjük a mintákban, ezért első lépésként el kell készíteni egy úgynevezett kalibrációs görbét mint, amit a 9. ábra is mutat.



9. ábra POXC mérés kiértékeléséhez készített kalibrációs görbe

A kálium-permanganát koncentráció és az abszorbancia közti összefüggés lineáris (1). A képletbe az a és b a koncentrációs görbe paraméterei.

$$M = b \times Abs_{minta} + a \quad (1)$$

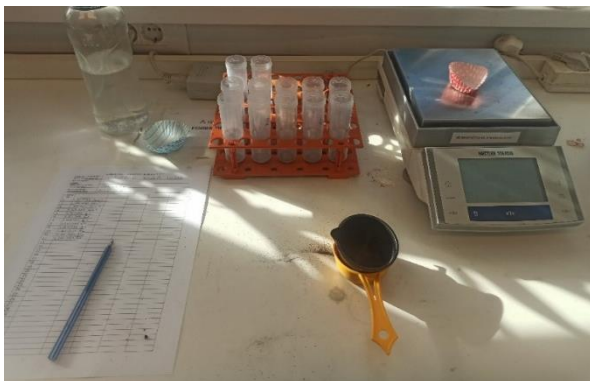
Ezt az összefüggést felhasználva tudjuk a koncentrációváltozás révén megmondani az aktív szén mennyiségét a mintában. A koncentrációváltozás a kezdeti értékből a következő módon számolható (2):

$$\Delta M = M_{kezdeti} - M_{maradó} \quad (2)$$

A továbbiakban a minta tömegére vonatkoztatott szén tömegre kell átszámolni (3) ezt a koncentrációváltozást, ahol $F \approx 9000 \text{ mgC/mol}$ a kálium-permanganát konverziós faktora, V a kálium-permanganát térfogata, W pedig a talajminta tömege.

$$POXC \text{ (mg/kg)} = (M_{kezdeti} - (a + b \times Abs_{minta})) F \frac{V}{W_{kg}} \quad (3)$$

A permanganát-oxidálható (POXC) szén mérésének lépéseit a 10. ábra szemlélteti.



(a)



(b)



(c)



(d)

10. ábra A POXC mérés során 2 g talajmintát mértünk ki (a), majd ehhez 20ml 0,02 M $KMnO_4$ + 0,1 M $CaCl_2$ oldatot adtunk hozzá (b). Az oldatot 2 percig ráztuk majd 5percig vártunk, hogy ülepedjen (c). Végezetül 200 μ l mintát mértünk ki kémcsövekbe és 10 cm³ desztillált vizet adtunk hozzá (d). A spektrofotométer küvettaiba ezekből mértük ki a megfelelő mennyiséget (Saját fotó).

Az eljárás során először 2g-os légszáraz talajmintákat mértünk ki. A vizsgálat következő lépéseként a mintákhoz 20 ml 0,02 M KMnO_4 + 0,1 M CaCl_2 oldatot adtunk hozzá. Az oldatot 2 percig ráztuk, majd 5 percig hagytuk ülepedni. Majd 200 μl oldatot kimértünk egy másik kémcsőbe és 10 cm^3 desztillált vizet adtunk hozzá. Az abszorbanciát 565nm hullámhosszon mértük Biochrom Libra S22 spektrofotométerrel.

4.3.2. Összes szerves szén

Az aktív szén mellett a teljes szerves szén (TOC) mennyiséget is vizsgáltuk. Egyrészt a két szén mennyiség aránya is hordoz értékes információkat. Ebből a viszonyszámból lehet például következtetni arra, hogy milyen jellegű lépéssel lehet javítani a talaj állapotán. Másrészt a teljes szerves szén mennyiség önmagában is indikátora a talaj állapotának.

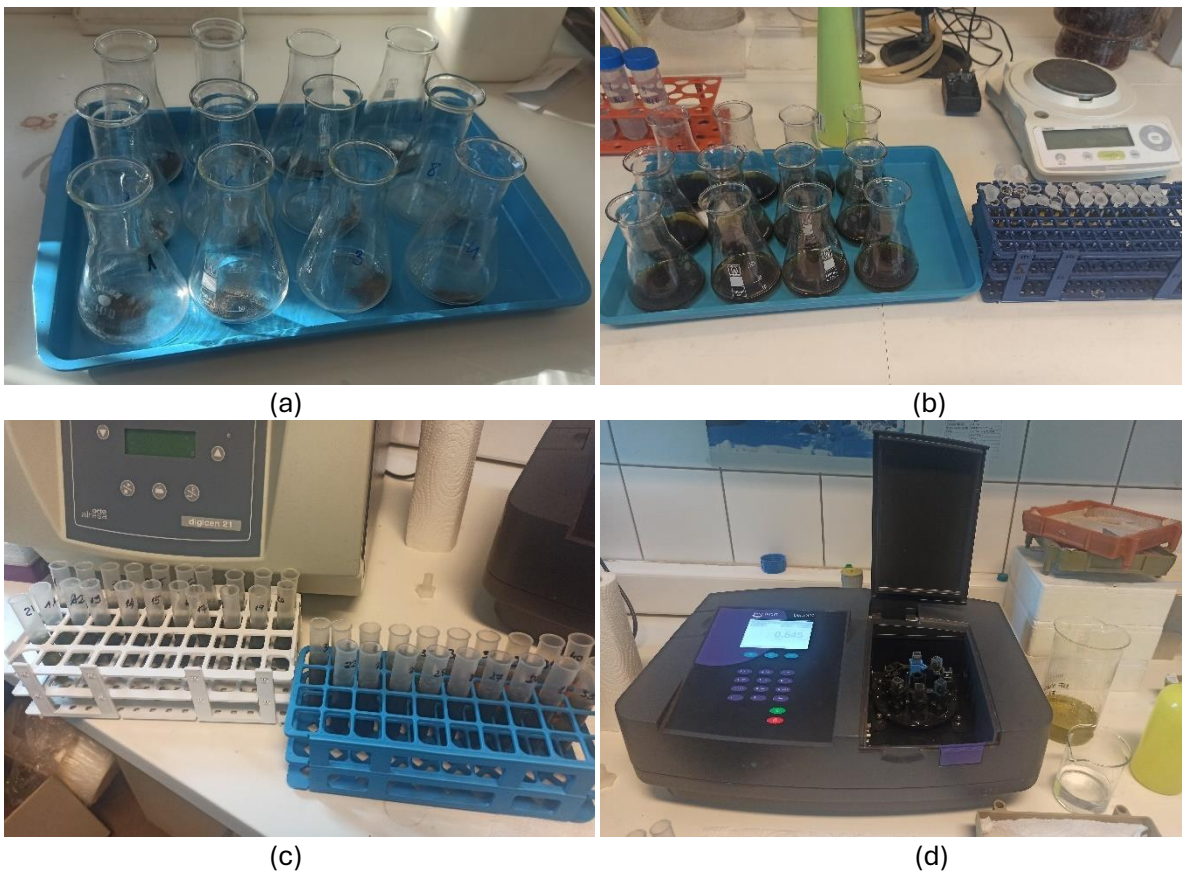
A teljes szerves szén értékét Walkley & Black eljárásának spektrofotometriás változatával mértük (FAO, 2019) leirat alapján. A másik lehetőség a titrálós mérés lenne, ám ezzel szemben a spektrofotométer pontosabb, nem a vizuális színváltozás érzékelésen alapul. Emellett magas szerves széntartalmú minták, mint esetünkben, vizsgálatokor kifejezetten nehéz a titrálást pontosan kivitelezni. Más módszerekkel szembeni előnye pedig az egyszerűségében és költséghatékonyságában rejlik. Az eljárás a krómsavas nedves oxidáción alapszik és ezt használja fel a TOC meghatározására. Az oxidálható szén 0.34 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ oldatban oxidáljuk és a keletkező zöld színű Cr^{3+} ion mennyiségét lehet 600nm-es hullámhosszon mérni, tehát minél több a szerves szén mennyisége, annál sötétebb mintánk lesz. Mivel az ismertett metódus során nem fog az összes szerves szén oxidálódni, a vizsgálatok szerint csak 75-90%-ban, ezért egy korrekciós faktor ($f=1.3$) használata szükséges, hogy a nem oxidált mennyiséget is figyelembe vegyük. Továbbá magas TOC tartalmú minták esetén javasolt kisebb mennyiségű mintákkal dolgozni, ezért a vizsgálatok során 0,5g mintákkal dolgoztunk.

A TOC mérés első lépéseként 0,5g légszáraz mintákat mértünk ki. Ezt követően 2ml 10%-os $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0.34 M) oldatot adunk hozzá és összekeverjük. Harmadik lépésként 5ml cc. H_2SO_4 adunk hozzá, lehűtjük és 30 percig hagyjuk állni, hogy az oxidáció végbe menjenek. Utolsó előtti mozzanatként 20ml desztillált vizet adunk hozzá, összekeverjük és hagyjuk egy éjszakát ülepedni. Végezetül szintén Biochrom Libra S22 spektrofotométerrel 600nm hullámhosszon mértük az abszorbanciát. A vizsgálat néhány lépését mutatja be a 11. ábra.

Itt sem adja meg a műszerről leolvasott abszorbancia érték közvetlenül a TOC mennyiségét, ezért itt egy standard görbét használunk fel, amit cukros (4 mg C/mL) oldatból készítettünk el 0-8mg-os minták segítségével. A TOC százalékos értékét a következő módon lehet meghatározni (4):

$$\% TOC = \frac{mgC_{referencia} - mgC_{minta}}{W_{mg}} \times f \times m \times c \times 100 \quad (4)$$

A számlálóban lévő különbség az oxidált szén tömege, amihez szükséges a cukros standard görbét felhasználni. Az f a korrekciós faktor, w a minta tömege és mcf egy korrekciós faktor a nedvesség figyelembevételére.



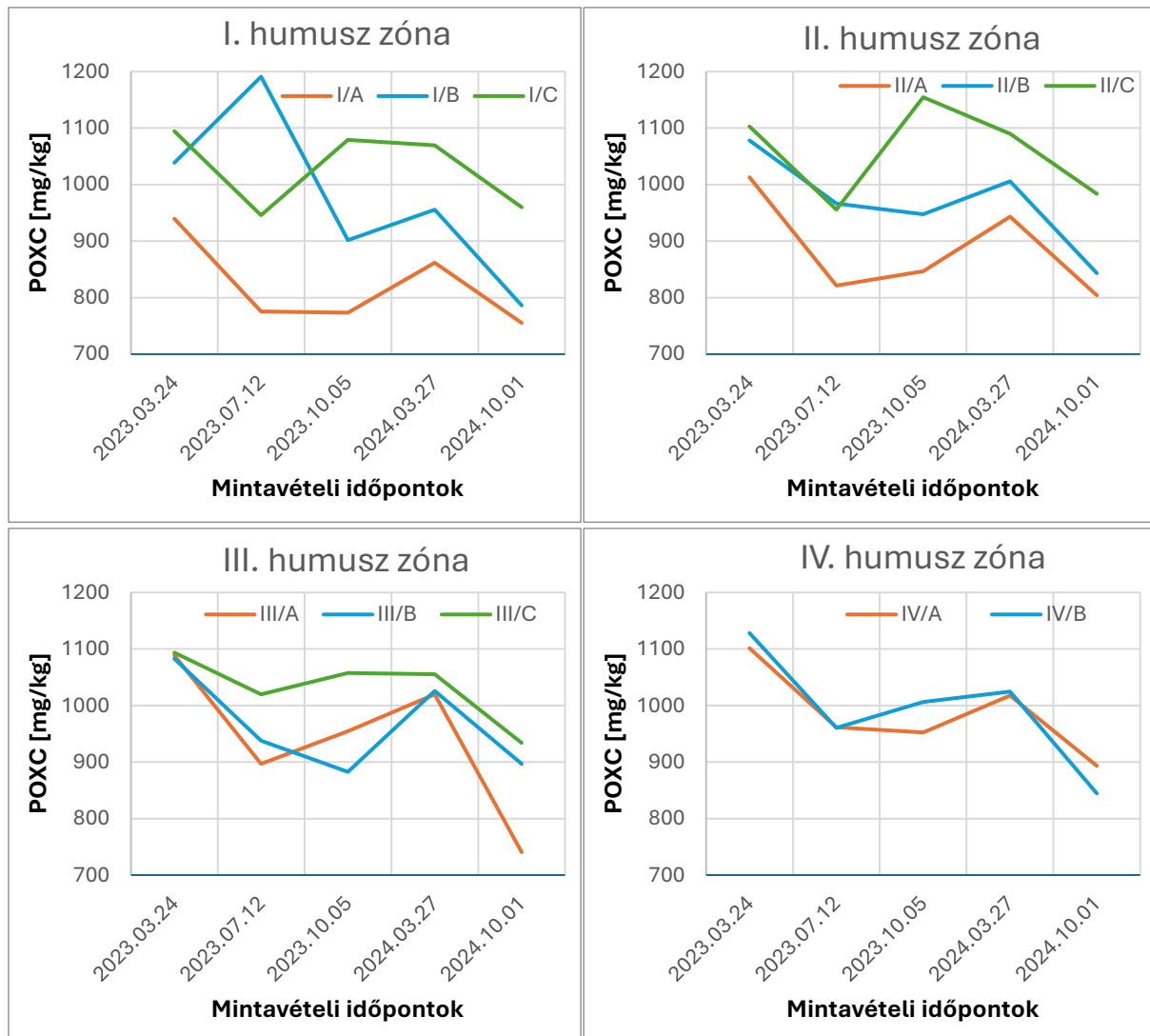
11. ábra A TOC mérésekor 0,5g talajmintát mértünk ki (a), ehhez 2ml 10%-os $K_2Cr_2O_7$ (0.34 M) oldatot adtunk (b). Ehhez 5ml cc H_2SO_4 -t adtunk és 30 percig hagytuk állni, majd 20ml desztillált vizet adtunk hozzá és egy éjszakát állni hagytuk (c). Az abszorbanciát spektrofotométerrel 600nm hullámhosszon mértük (d) (Saját fotó).

4.3.3. Amino-Nitrogén mérése

A dolgozatomban bemutatott amino-nitrogén eredményeket egy másik laboratóriumban mérték, ezek végrehajtásában nem vettem részt. Az amino-nitrogén mérésére is van több módszer, de alapvetően abból indulnak ki az eljárások, hogy lúgot adnak hozzá a mintához. Majd az így felszabaduló NH_3 gáz mennyiségét mérik például titrálással vagy kolorimetriával (Moore, et al., 2019).

5. Eredmények és értékelésük

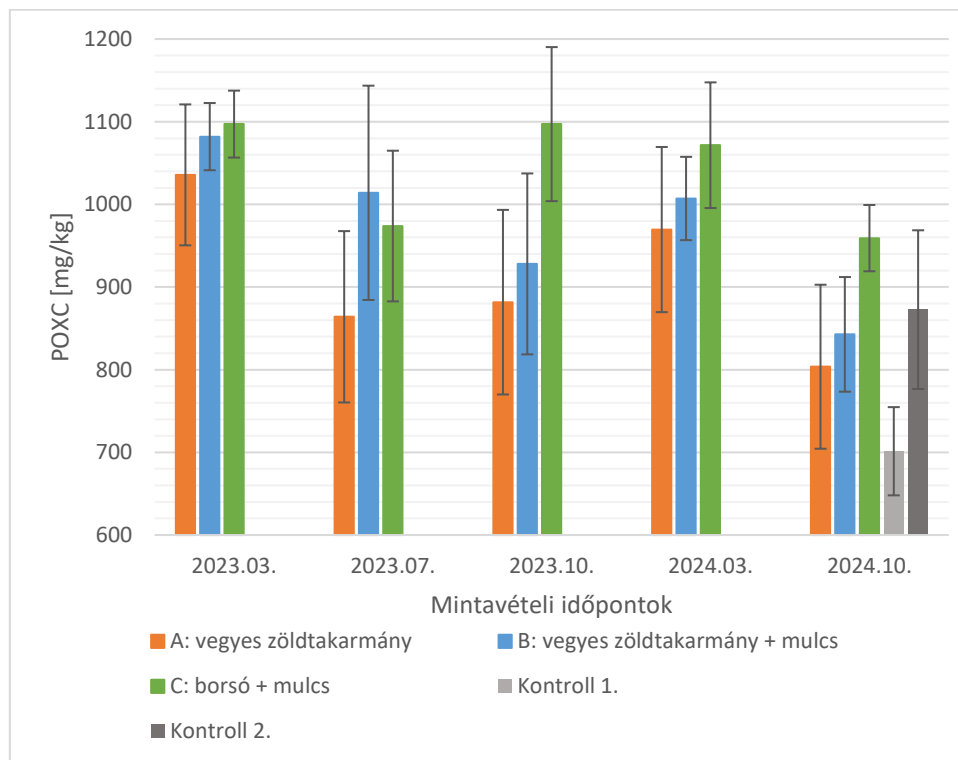
5.1. POXC mérés eredményei



12. ábra I-IV humusz zónák POXC értékei A: vegyes zöldtakarmány, B: vegyes zöldtakarmány + mulcs, illetve C: borsó + mulcs esetében

A 12. ábra együttes az egyes humuszkategóriákba eső mintákon mért POXC értékek időbeli változását szemlélteti. Az ábráról két főbb jelenség figyelhető meg. A különböző humuszkategóriák esetében mért eredmények között számottevő eltérés tapasztalható. Az első kategóriába eső mintáknál az A és B vegyes zöldtakarmányos kezelések mellett is csökkent a POXC értéke, míg C borsó termesztése és mulcsként meghagyása után az értékekre illesztett görbe tendenciája kevésbé mutat csökkenést. A kezelések közti különbség a III. kategóriában már alig érzékelhető, míg a IV. kategóriában a zöldtakarmány bálázása és elvitele vagy mulcsként a területen hagyása nem jelent különbséget a POXC értékekre nézve.

A több mintavételi időpontnak köszönhetően az évszakok hatása szintén jól megfigyelhető az értékek alakulásán. Az évszakok váltakozásának és ezzel együtt az eltérő mezőgazdasági folyamatoknak, és a termesztett növények különböző fenológiai fázisainak köszönhetően a talajban is más jelenségek dominálnak a mintavételi időpontokban. Az ezeknek köszönhető hullámváltozás a POXC számokban is észrevehető azáltal, hogy a tavaszi időpontban magasabb, míg nyáron és ősszel inkább alacsonyabb értékeket mértünk.



13. ábra Különböző kezelések esetén POXC átlag és szórás

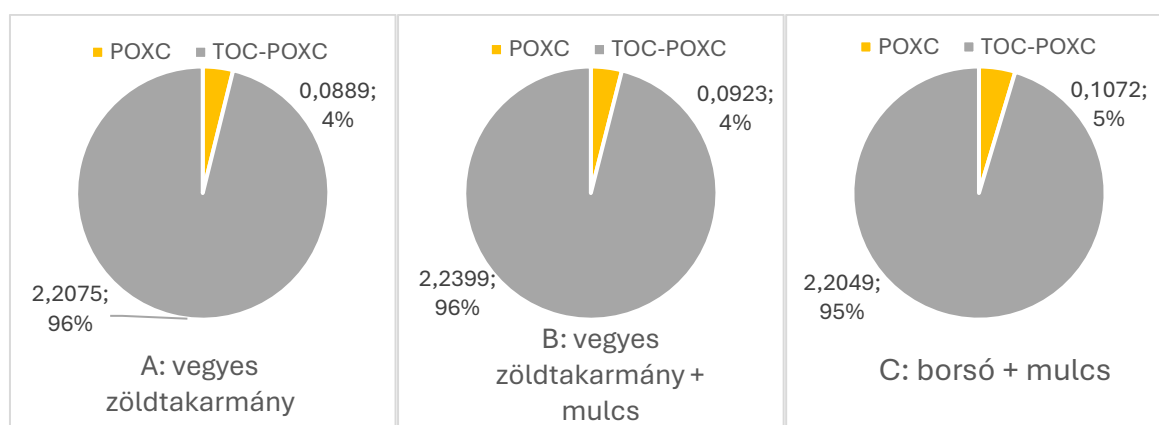
A 13. ábra a három vizsgált mezőgazdálkodási gyakorlat hatását hivatott bemutatni. Utóbbi ábra esetében adott kezeléshez tartozó POXC értékek vannak átlagolva minden egyes mintavételi időpontban. Ezek a két kontroll területről származó 2024 őszi eredményekkel is összehasonlíthatóak. Itt megfigyelhető, hogy a C borsó termesztés, majd mulcsként alkalmazása mellett egy kivételtől eltekintve magasabb POXC értékeket mértünk. Ebben az esetben még a két kontroll területnél is magasabb aktív szén mennyiséget realizáltunk. Ezután a vegyes zöldtakarmány termesztés majd mulcsként alkalmazása vezetett még magasabb számokhoz. Az megfigyelhető, hogy utóbbinál a kontroll 2. magasabb humusz tartalmú terület kissé magasabb POXC értékeket mutatott. Itt azonban hangsúlyozandó, hogy egy mintavételi időpontból állnak rendelkezésünkre adatok, így nem láthatóak az azokon a területekhez tartozó tendenciák.

5.2. TOC és POXC arányai

A teljes szerves szén mennyisége szintén egy mintavételi időpont esetén lett meghatározva, ezért itt tendenciák helyett az adott kezelésekhez tartozó átlagok kerülnek bemutatásra humusz zónánként a 2. táblázatban. Az itt látható számok egyrészt alátámasztják a humusz zónák kialakítását, ezt abból lehet látni, hogy az alacsonyabb számú zónában van kisebb érték az egyes kezelések esetében. Kivételt képez ez alól, amikor C borsó termesztése majd mulcsként alkalmazása mellett mértük a TOC értékét. Ennek oka lehet mérési hiba, nem pontos mintavételezés, de akár az is, hogy a zónák meghatározásakor kisebb mértékű különbségek voltak az egyes területek között. Mivel egy mintavételi időpontban végeztük el a vizsgálatot így a tendenciára vonatkozó következtetéseket ebből a mutatóból nem tudunk levonni. Emellett még feltételezhető az eredményekből, hogy az eredetileg is magasabb humusztartalommal rendelkező területeken kisebb már a kezelések hatása, emiatt például a III. humusz zónában a kontroll 1. területnél magasabb TOC érték látható.

Kezelés	I. humusz zóna	II. humusz zóna	III. humusz zóna	IV. humusz zóna	Nincs zóna
A: vegyes zöldtakarmány	2,117	2,229	2,344	2,497	-
B: vegyes zöldtakarmány + mulcs	2,252	2,294	2,349	2,433	-
C: borsó + mulcs	2,363	2,306	2,267	-	-
Kontroll 1.	-	2,159	2,516	-	-
Kontroll 2.	-	-	-	-	2,009

2. táblázat TOC átlagok, oszlopok szerint zöld színnel jelölve a legmagasabb és piros színnek a legalacsonyabb érték

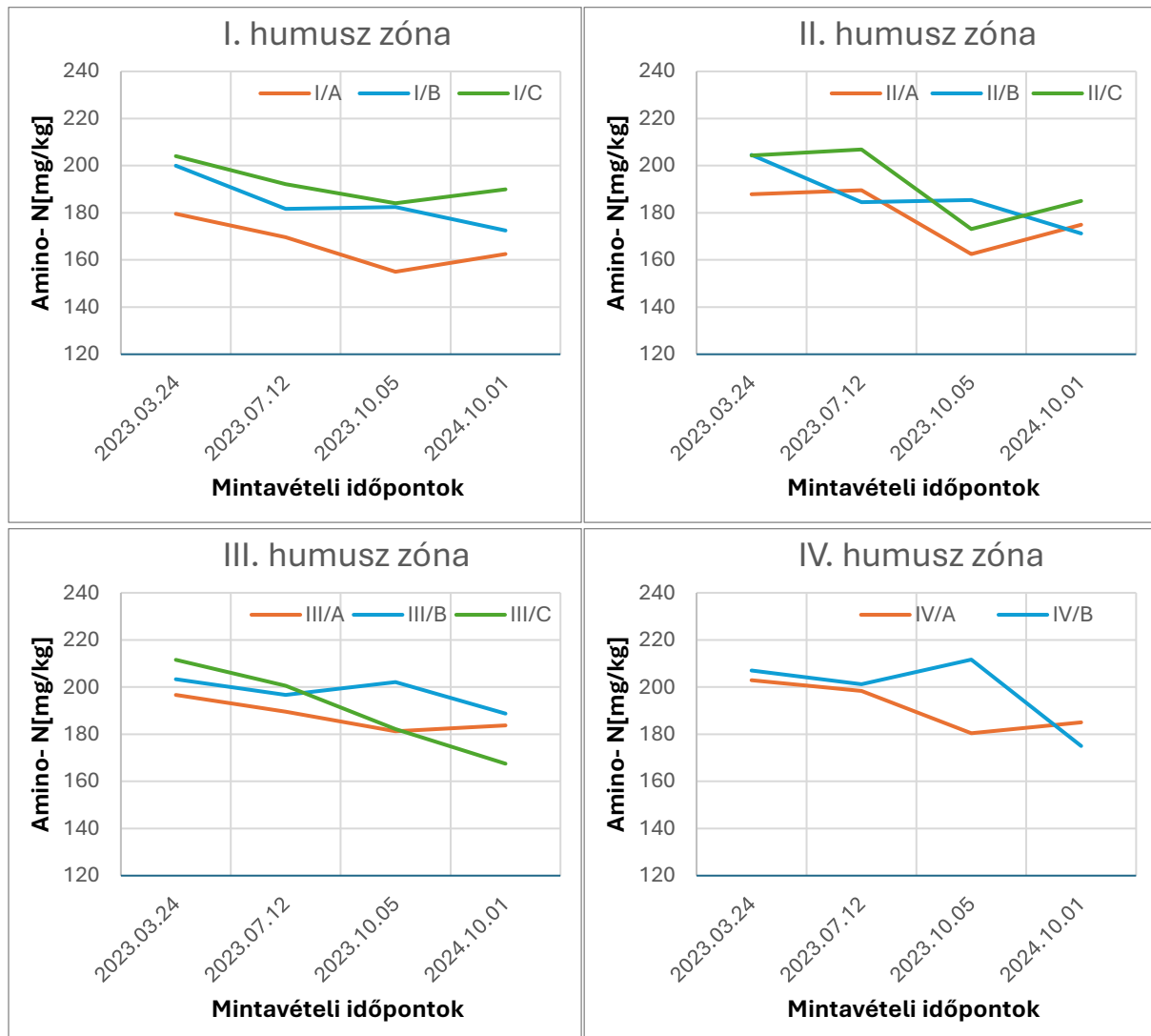


14. ábra POXC a TOC értékéhez viszonyítva 2024.07.04.-i mintavételi időpontban

A 14. ábra a TOC és a POXC arányát mutatja egymáshoz viszonyítva. Itt azt tudjuk megállapítani, hogy a C borsó termesztés és mulcsként meghagyása esetén némileg több lesz az aktív szén

menyisége 5% a teljes szerves szénkészletben, míg a többi kezelésnél ez 4% volt. Ezek az értékek magas agyagtartalmú talajokra jellemzőek inkább (Culman, et al., 2012).

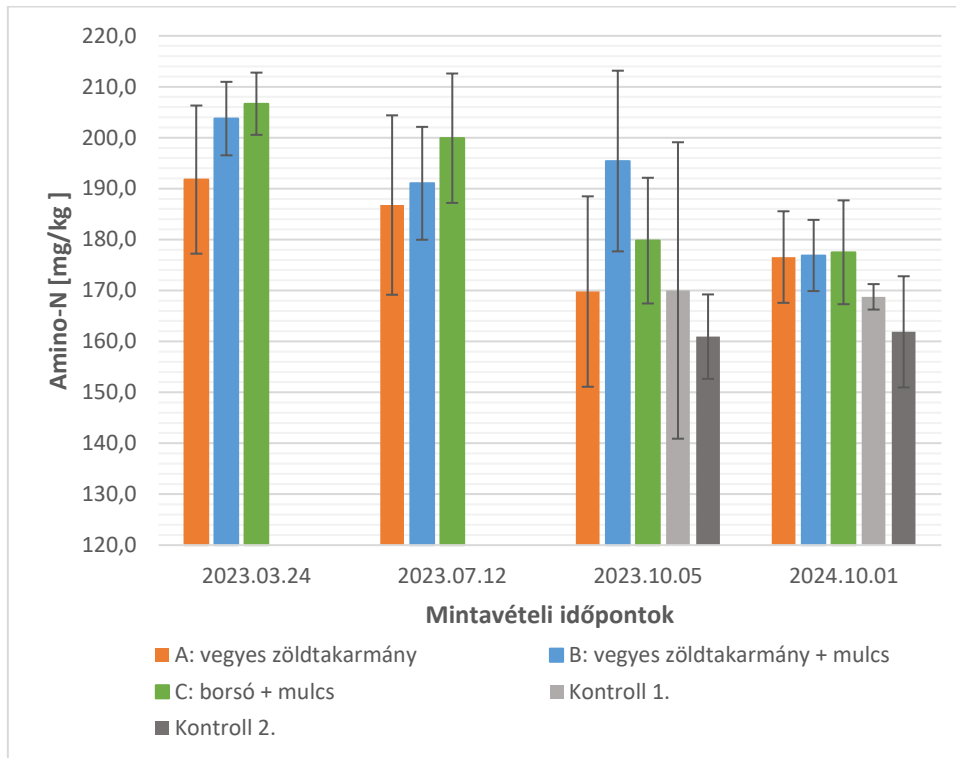
5.3. Amino-Nitrogén



15. ábra I-IV humusz zónák TOC értékei A: vegyes zöldtakarmány, B: vegyes zöldtakarmány + mulcs, illetve C: borsó + mulcs esetében

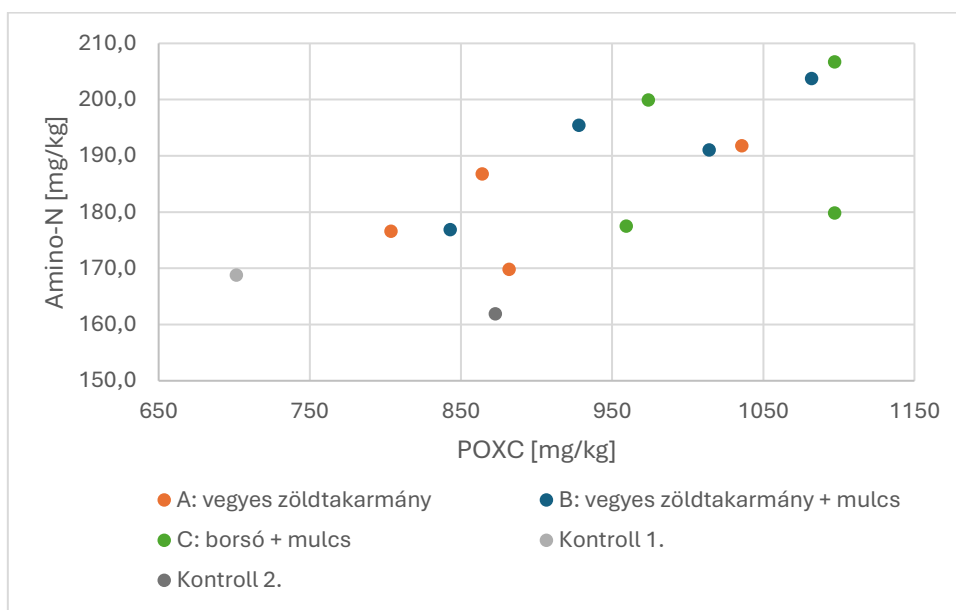
A 15. ábra szintén az egyes humusz zónákban mutatja be, de az amino-nitrogén időbeli változását az egyes kezelések hatására. Itt az évszakokból adódó hullámzást kevésbé lehet nyomon követni, mert kevesebb mintavételi időpontból állnak rendelkezésre mért értékek. Az látható, hogy C borsó termesztése és mulcsként meghagyása révén kis mértékben több az amino-N mennyisége. A III. humusz zónában nem teljesen igaz ez az állítás, azonban az utolsó 2024. őszi mérések jóval kevesebb mintából álltak össze, így feltételezhető, hogy ott ebből adódóan nem pontos eredményt kaptunk.

Az egyes kezelések hatása szintén megfigyelhető a 16. ábrán is a kontroll területek eredményeivel együtt. Ebből kiolvasható, hogy a C borsó kezelés mellett még a B, amikor vegyes zöldtakarmányt természettek és mulcsként meghagyták szintén jobb eredményre vezet az amino-N tekintetében a kontroll területekhez képest.



16. ábra Különböző kezelések esetén Amino-N átlag és szórás

5.4. Amino-N és POXC viszonyai



17. ábra Amino-N átlagok POXC átlagok függvényében

A 17. ábra az amino-N értékek átlagait ábrázolja a POXC átlagok függvényében az egyes mintavételezési időpillanatokban kezelésenként. Ebből a megjelenítésből egy egyenes arányosság figyelhető meg a kettő közt, tovább tendencia abban, hogy melyik kezelés hol található. A kontroll területek esetében kevesebb a POXC és az amino-N értéke is. Amikor vegyes zöldtakarmányt termesztettek az A kezelésnél az amino-N és POXC értékek is közepes nagyságúak voltak. Azonban, ha már mulcsként otthagyták a takarmányt az értékek magasabb helyet foglalnak el a tendenciára illeszthető görbén. A legmagasabb POXC és amino-N értékeket akkor kaptuk, ha C borsót termesztettek és ezt mulcsként meghagyták a területen.

6. Következtetések és javaslatok

A talajtani heterogenitást figyelembe véve néhány alapkövetkeztetés levonható az elvégzett POXC és amino-nitrogén vizsgálatok eredményeiből. Ezek alapján a mind a vegyes zöldtakarmány, mind a borsó termesztése majd mulcsként a területen hagyása javítja a vizsgált mutatókat. Utóbbi kezelés kisebb mértékben magasabb számokat produkált és a TOC mérések eredményeit tekintve itt nagyobb 5% a POXC aránya a TOC-hoz képest, míg a vegyes zöldtakarmánynál csak 4%. Annak megítélésére, hogy ezek megfelelően nagy javulásnak számítanak-e még több tényezőt figyelembe kell venni. Szignifikáns különbségek az alacsonyabb humuszkategóriájú zónákban realizálhatóak, azonban kérdés ezeknek a területeknek az aránya a teljes táblában. Továbbá az egyes területeken folytatott mezőgazdasági gyakorlat ütemezéséről nincsenek információink, így ezek az ismeretek még szintén módosíthatnak a számok értelmezésén.

A pontosabb következtetésekhez még újabb vizsgálatok is nyújthatnának segítségek. Ennek oka, hogy a POXC vizsgálat bizonyos kutatás szerint nem csak a könnyen hozzáférhető labilis frakciókat méri, hanem például a lignint is, ami a stabil készletbe sorolandó (Woodings & Margenot, 2023). A talaj minőség és termékenység vizsgálatakor hasznos indikátor lehet még egyes elemzések szerint a vízdoldható szerves szén mennyiségének meghatározása (Bankó, et al., 2021). A vízdoldható szerves szén mellett a mikrobiológiai paraméterek is hasznos információkat hordozhatnak. Ezeknek a mérésével is korán detektálhatóak az egyes változásoknak a hatásai, mivel a mikrobák gyorsan reagálnak a különböző gazdálkodásbeli módosításokra (Gangwar, et al., 2019).

A takarónövények alkalmazásán kívül más módszerek is vannak a szerves szénkészlet növelésére. Magas humusztartalmú erősen agyagos talajok esetében fontos a szerves anyagok utánpótlása, ugyanakkor inkább a meglévő készletek megőrzésére kell a hangsúlyt fektetni. Egyik opció az aggregátumok védelme azáltal, hogy a talajbolygatást csökkentjük, például forgatás nélküli művelés alkalmazásával. Ilyen talajok esetében jó megoldás lehet a szénbevitel stabil formában érett komposzt segítségével vagy biochar által, amivel még a talaj víz és levegőgazdálkodása is javítható (Xiao, et al., 2024). Harmadik lehetséges mód hogyha a biomassza növelésen belül a gyökértömeg növelésére fókuszálunk még inkább. Mélyen gyökerező takarónövények révén a talaj mélyebb rétegeibe is lehet szerves anyagot juttatni,

lazítani a talajt forgatás nélkül, továbbá a rizodepozíció jótékony hatásai alsóbb talajszinteken is realizálódni tudnak (Patra, et al., 2024).

A szerves szén mennyiségi növelésén túl a nitrogénre is lehet egyéb módokon nagyobb hangsúlyt fektetni. Az egyik kézenfekvő megoldás a pillangós növények nagyobb mértékű alkalmazása. A borsó termesztés eredményeinél is látszott ennek pozitív hatása az aminos-nitrogénre, ezt lehet még fokozni, akár pillangós főnövény, másodvetés vagy takarónövény termesztésével. A pillangósok mellett a talaj pH-ját is érdemes megvizsgálni. Több kutatás is foglalkozik (Mitsuta, et al., 2025) a meszezés és ezáltal a pH növelésének pozitív hatásaival. A nitrifikációban résztvevő mikrobák ugyanis semleges vagy enyhén lúgos pH esetén stabilabban vannak jelen, számuk kevésbé ingadozik például évszakváltások hatására.

7. Összefoglalás

Dolgozatomban egy napjainkban egyre inkább előtérbe kerülő természeti erőforrás, a termőtalaj, védelmének, javításának egy lehetséges megvalósítását vizsgáltam. Erre a témára még inkább nagyobb hangsúlyt kell fektetnie a társadalomnak, mert az élelmiszer-előállítás és a klímaváltozás révén egy mindenkit érintő problémáról van szó akkor, amikor a talajaink megőrzéséről beszélünk.

Munkám során a szervesanyag-növelés egyik módszerének a zöldtrágyázásnak a hatását vizsgáltam egy 2 éven át tartó kísérletsorozat segítségével. Két kísérleti tábláról, plusz két kontroll tábláról származó erősen agyagos talajmintákon vizsgáltuk a POXC, TOC és az amino-nitrogén mennyiségét. Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok egy részében én is részt vettem, így egy mintasorozat POXC és TOC mérésében segédkeztem. Az egyik táblán vegyes zöldtakarmányt termesztettek, melyet a terület egy részéről kaszálás után elszállítottak, a másik részen viszont kaszálás után mulcsként alkalmazták. A másik táblán borsót termesztettek, melyet kaszálás után szintén mulcsként a területen hagytak. A vizsgálati területet a humusztartalmuk alapján zónákra osztották, így ezek hatását is lehet vizsgálni.

Az eredmények alapján látható egyrészt, hogy a kezdeti humusztartalom nagy befolyással volt a különböző termesztési gyakorlatok hatásait is tartalmazó mutatókra és azok tendenciáira. Alacsonyabb humusztartalomnál nagyobb különbségek adódtak az egyes eljárások között. Az amino-nitrogén és a POXC értékeket tekintve szinte minden esetben a borsó termesztése és mulcsként alkalmazása vezetett a legmagasabb számértékekhez, ugyanakkor a vegyes zöldtakarmány termesztése és mulcsként alkalmazása szintén kedvező hatásúnak bizonyult. A TOC és POXC arányának elemzésekor a borsónál volt magasabb a POXC aránya, ugyanakkor itt egy mintavételi időponthoz tartozó értékeink voltak, így a tendenciát itt nem tudtam elemezni. Az eredmények megítélésékor fontos azt figyelembe venni, hogy bizonyos adatok például termesztési információk, az egyes zónák pontos nagysága még tudják módosítani a hatásosság mértékét.

A vizsgált agyagos talaj esetében a szervesanyag-növelés helyett a megőrzésére érdemes még jobban figyelni. Ebben segíthet a nitrogén esetében a meszezés vagy még több pillangós termesztése. A szén tekintve pedig a talajbolygatás csökkentése, érett komposzt alkalmazása vagy a gyökértömeg növelése a talaj mélyebb rétegeiben lehet hasznos megoldás. A megfelelő

eljárás kiválasztásában a gazdasági szempontok mellett pedig egyéb talajtulajdonságok mérése, mint vízdoldható szerves szén vagy a mikrobiális biomassza széntartalma további segítséget nyújthatnak.

8. Hivatkozások

- Bankó, L., Tóth, G., Hoffmann, S. & Marton L, C., 2021. Hot-water extractable C and N as indicators for 4p1000 goals in a temperate-climate long-term field experiment: A case study from Hungary. *Ecological Indicators*, Volume 126.
- Bongiorno, G. et al., 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*, Volume 99, pp. 38-50.
- Chan, K. et al., 2010. *A farmer's guide to increasing soil organic carbon under pastures*. s.l.:Industry & Investment NSW.
- Chenua, C. et al., 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential. *Soil & Tillage Research*, Volume 188, pp. 41-52.
- Culman, S. et al., 2012. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 76, pp. 494-504.
- Cserni, I., 2004. *Talajtan és Agrokémia Talajtan vol. I.* Kecskemét: Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar.
- Demeter, I., 2021. *Az ökológiai és konvencionális gazdálkodás hatása talajkémiai és biológiai paraméterekre - thesis*. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.
- Evans, D. et al., 2020. Soil lifespans and how they can be extended by land use. *Environmental Research Letters*.
- FAO, 2019. *Standard operating procedure for soil organic carbon. Walkley-Black method: Titration and colorimetric method (GLOSOLAN-SOP-02)*, Rome: FAO.
- Farsang, A., 2011. *Talajvédelem*, <https://dtk.tankonyvtar.hu/handle/123456789/8538>: Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet.
- Filep, G., 1988. *Talajkémia*. Budapest: Akadémiai kiadó.
- Füleky, G., 1999. *Tápanyag-gazdálkodás*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Füleky, G., 2008. *Talajvédelem, talajtan*. 2011 szerk. Veszprém: Pannon Egyetem Környezetmérnöki Szak.
- Gangwar, R. et al., 2019. Talajmikrobiológiai paraméterek változása szántóként és rétként hasznosított réti szolonyec talajokban. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, Volume 68, pp. 155-175.
- Grzyb, A., A., W.-M. & Niewiadomska, A., 2020. Environmental Factors Affecting the Mineralization of Crop Residues. *Agronomy*, Volume 10.
- Győri, D., 1984. *A talaj termékenysége*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
- Hargitai, L., 2004. *Talajtan és agrokémia II.* Budapest: Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem.
- Jobbágy, E. & Jackson, R., 2000. The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. *ECOLOGICAL APPLICATIONS*, 10. kötet, pp. 423-436.

- Juhos, K., Jakab, G., Kotroczó, Z. & Madarász, B., 2022. Talajkímélő művelés hosszú távú hatása egy Nyugat-magyarországi barna erdőtalaj szerves széntartalmára. In: M. Makádi, G. Tóth & R. D. Bertóti, szerk. *Talajtani kutatás és oktatás a digitális mezőgazdaság korában*. Hódmezővásárhely: Talajvédelmi Alapítvány, pp. 94-104.
- Kovács, M., 1975. *A környezetvédelem biológiai alapjai*. 1977 szerk. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
- Merante, P. et al., 2017. Adopting soil organic carbon management practices in soils of varying. *Soil & Tillage Research*, Volume 165, p. 95–106.
- Mitsuta, A. et al., 2025. Liming enhances the abundance and stability of nitrogen-cycling microbes: The buffering effect of long-term lime application. *Biology and Fertility of Soils*, Volume 61, p. 761–772.
- Moore, D. B. et al., 2019. Correlations between Two Alkali Extractable Amino-Nitrogen Tests and Response to Organic Fertilizer in Turfgrass Soils. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 3, pp. 791-799.
- Mühlbachová, G., Růžek, P., Kusá, H. & Vavera, R., 2023. CO₂ Emissions from Soils under Different Tillage Practices and Weather Conditions. *Agronomy*, Volume 13.
- Pankievicz, V., Irving, T., Maia, L. & Ané, J.-M., 2019. Are we there yet? The long walk towards the development of efficient symbiotic associations between nitrogen-fixing bacteria and non-leguminous crops. *BMC Biology*, 17. kötet.
- Patra, R., Saha, D., Neupane, A. & Jagadamma, S., 2024. Deep-rooted winter wheat cover crop promotes subsoil organic carbon storage through improved microbial functional traits. *Applied Soil Ecology*, 199. kötet.
- Stefanovits, P., Filep, G. & Fülek, G., 1999. *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Szóllósi, N., Kovács, G. & Zsembeli, J., 2009. A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón. *Agrártudományi Közlemények*, 35. kötet.
- Várallyai, G., 2005. A talaj funkciói. In: P. Stefanovits & E. Michéli, szerk. *A talajok jelentősége a 21. században*. Budapest: MTA Társadalomkutató Központ, p. 61.
- Wang, R. & Gu, B., 2023. A Conceptual Framework on the Fate of Rhizodeposits. *Air, Soil and Water Research*, 16. kötet.
- Weil, R. et al., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, Volume 18, pp. 3-17.
- Weil, R. R. & Brady, N. C., 2017. *The Nature and Properties of Soils*. 15th ed. New York: Pearson Education.
- Woodings, F. S. & Margenot, A. J., 2023. Revisiting the permanganate oxidizable carbon (POXC) assay assumptions: POXC is lignin sensitive. *Agricultural & Environmental Letters*, 8(1).
- Xiao, L. et al., 2024. Soil Organic Carbon and Humus Characteristics: Response and Evolution to Long-Term Direct/Carbonized Straw Return to Field. *Agronomy*, Volume 14, p. 2400.

9. Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. ábra A talajba jutó C-tartalom megoszlása (Stefanovits, et al., 1999)	6
2. ábra Nitrogén mennyiség hatása a hajtás és gyökérnövekedésre (Füleky, 1999)	8
3. ábra A talaj nitrogén taralmának körforgása (Füleky, 2008)	9
4. ábra Nitrogén fixáló baktériumok (Pankievicz, et al., 2019)	9
5. ábra Néhány növény esetében a C/N arány értéke (Grzyb, et al., 2020)	10
6. ábra A talaj nitrát tartalmának és C/N arányának változása szervesanyag-bedolgozás hatására (Stefanovits, et al., 1999)	11
7. ábra Szerves szénkészleteket befolyásoló mezőgazdasági gyakorlatok (Chenua, et al., 2019)	13
8. ábra A szerves széntartalom megoszlása és aránya egy bolygatás nélküli (no-till) és egy hagyományosan művelt talaj esetében (Chan, et al., 2010)	14
9. ábra POXC mérés kiértékeléséhez készített kalibrációs görbe	17
10. ábra A POXC mérés során 2 g talajmintát mértünk ki (a), majd ehhez 20ml 0,02 M KMnO ₄ + 0,1 M CaCl ₂ oldatot adtunk hozzá (b). Az oldatot 2 percig ráztuk majd 5percig vártunk, hogy ülepedjen (c). Végezetül 200µl mintát mértünk ki kémcsövekbe és 10 cm ³ desztillált vizet adtunk hozzá (d). A spektrofotométer küvettáiba ezekből mértük ki a megfelelő mennyiséget (Saját fotó).....	18
11. ábra A TOC mérésekor 0,5g talajmintát mértünk ki (a), ehhez 2ml 10%-os K ₂ Cr ₂ O ₇ (0.34 M) oldatot adtunk (b). Ehhez 5ml cc H ₂ SO ₄ -t adtunk és 30 percig hagytuk állni, majd 20ml desztillált vizet adtunk hozzá és egy éjszakát állni hagytuk (c). Az abszorbanciát spektrofotométerrel 600nm hullámhosszon mértük (d) (Saját fotó).	20
12. ábra I-IV humusz zónák POXC értékei A: vegyes zöldtakarmány, B: vegyes zöldtakarmány + mulcs, illetve C: borsó + mulcs esetében	21
13. ábra Különböző kezelések esetén POXC átlag és szórás	22
14. ábra POXC a TOC értékéhez viszonyítva 2024.07.04.-i mintavételi időpontban.....	23
15. ábra I-IV humusz zónák TOC értékei A: vegyes zöldtakarmány, B: vegyes zöldtakarmány + mulcs, illetve C: borsó + mulcs esetében	24
16. ábra Különböző kezelések esetén Amino-N átlag és szórás.....	25
17. ábra Amino-N átlagok POXC átlagok függvényében.....	25
1. táblázat Vizsgált táblák pH, Arany-féle kötöttségi tényező és szénsavas mész tartalma	16
2. táblázat TOC átlagok, oszlopok szerint zöld színnel jelölve a legmagasabb és piros színek a legalacsonyabb érték.....	23

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Zentai Boglárka

A Hallgató Neptun kódja: N4PVR5

A dolgozat címe: Zöldtrágyázás hatása a talajok szerves
szén- és nitrogéntartalmára

A megjelenés éve: 2025

A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Agrárkörnyezettani Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsgabizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába.

Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2025 év november hó 03 nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Zentai Boglárka (hallgató Neptun azonosítója: N4PVR5) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2025 év november hó 03 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Zentai Boglárka
Neptun-kódja:	N4PVR5
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat készítés 2. KERTU077L
A munka címe:	Zöldtrágyázás hatása a talajok szerves szén- és nitrogéntartalmára

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Irodalmi források keresése	Gemini 2.5 Pro	Szakirodalmi áttekintés

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
-	-	-	-

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt:Budapest....., 2025.november..... hó ...03. nap

.....

Hallgató aláírása

.....

Konzulens/Témavezető aláírása