

SZAKDOLGOZAT

Kiss Máté

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Környezettudományi Intézet

**Biológiai talajerő-gazdálkodási szakmérnök szakirányú
továbbképzési szak**

**TALAJKEZELÉSEK HATÁSA A BIOLÓGIAI
TALAJOLTÁS HATÉKONYSÁGÁRA ÉS A NÖVÉNYI
PRODUKTUMRA**

Belső konzulensek: Dr. Kotroczó Zsolt,
egyetemi docens
Prettl Nándor,
doktorjelölt

**Belső konzulensek
tanszéke:** Agrárkörnyezettani Tanszék

Készítette: Kiss Máté

Budapest

2023

TARTALOM

1.	BEVEZETÉS	2
2.	CÉLKITŰZÉS.....	3
3.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	4
3.1.	TALAJTÍPUSOK	4
3.1.1.	A BARNA ERDŐTALAJOK JELLEMZŐI.....	4
3.1.2.	A RÉTI TALAJOK JELLEMZŐI.....	6
3.2.	A KUKORICA ÖKOLÓGIAI IGÉNYEI ÉS A TERMESZTÉSÉNEK HAZAI JELLEMZŐI	7
3.2.	TALAJOLTÁS ÉS OLTÓANYAGOK.....	8
3.3.	TALAJKEZELÉS (STERILIZÁLÁS)	9
3.4.	TALAJHASZNÁLAT-ÁLLAPOT JELLEMZÉSE	12
3.5.	A NÖVÉNYI FEJLETTSÉG JELLEMZÉSE	13
4.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	14
4.1.	FELHASZNÁLT TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS KEZELÉSÜK	14
4.2.	AZ OLTÓANYAG TULAJDONSÁGAI ÉS KEZELÉSÜK	14
4.3.	FELHASZNÁLT ANYAGOK (MELASZ)	15
4.4.	KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS.....	15
4.5.	TALAJ- ÉS NÖVÉNYVIZSGÁLATOK	16
4.6.	ADATOK ÉRTÉKELÉSE	18
5.	EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK.....	19
5.1.	A NÖVÉNYI PRODUKTUMOT FELMÉRŐ TULAJDONSÁGOK	19
5.2.	A TALAJÁLLAPOTOT KÖZVETLENÜL JELLEMZŐ PARAMÉTEREK.....	26
6.	KÖVETKEZTETÉSEK	30
7.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	31
8.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	32
9.	IRODALOMJEGYZÉK.....	33
10.	MELLÉKLETEK.....	38
10.1.	A BARNA ERDŐTALAJON VIZSGÁLT PARAMÉTEREK KÖZÖTTI INTERAKCIÓK.....	38
10.2.	A RÉTI TALAJON VIZSGÁLT PARAMÉTEREK KÖZÖTTI INTERAKCIÓK.....	39

1. BEVEZETÉS

A termőföld Magyarország legfontosabb természeti erőforrása, ezért annak fenntartható hasznosítása és megőrzése a jövő generációk számára közös érdekünk, melynek biztosítása minden földhasználó számára elsődleges fontosságúnak kell lennie.

Magyarország klimatikus adottságai alapvetően kedvezőek a növénytermesztésre, de az időjárási szélsőségek és ingadozások gyakran veszélyeztetik a termesztés biztonságát. Emellett a mezőgazdasági művelésbe vont terület sajnálatos módon napról-napra csökken. Az élelmiszeripar ezzel egyidejűleg viszont egyre növekvő igényeket támaszt, így szükség szerű a minél magasabb és hosszú távon stabil hozamok elérése, melyet a környezeti források tudatosabb felhasználásával, az inputanyagok minimalizálásával, a talaj- és növényállapot folyamatos monitorozásával biztosíthatunk.

A talajművelést a termesztett növény igényeit szem előtt tartva végezzük, azonban gyakran hajlamosak vagyunk kissé figyelmen kívül hagyni a talajállapotot. A helytelen vagy túlzott mértékű talajműveléssel, az egyoldalú műtrágya és okszerítlen növényvédő szer felhasználással kedvezőtlen irányú folyamatoknak ágyazunk meg. Emellett az inputanyagárak folyamatos emelkedése arra készteti a termelőket, hogy a termésbiztonság és költséghatékonyság érdekében minél inkább az adott növény igényeihez igazítsák azon környezeti tényezőket, melyek többé-kevésbé módosíthatók. Ehhez az újabb, de már bizonyított és kipróbált, a fenntartható élelmiszertermelést is segítő technológiák beépítése a növénytermesztési gyakorlatba elengedhetetlen fontosságú. A jelenlegi agrárpiacon a helyzet is azt mutatja, hogy a gazdaságosság az egyik legfontosabb szempont a növénytermesztésben. Ezért a költségcsökkentés elvén, hosszútávon a mikrobiológiai készítmények használata lehet az egyik kulcs a rentábilis és fenntartható mezőgazdasághoz. Az utóbbi években egyre többen kezdtek talajoltó anyagok gyártásába, forgalmazásába, valamint használatába is, melyet a 2023 évi Agro-ökológiai Program feltételrendszere is nagyban elősegített, habár még mindig rengeteg kérdőjel van ezen biológiai készítmények használatának körülményeit illetően.

Szakedolgozatomban tenyészedényes kísérletben két különböző talajt használtunk, melyeket háromféle talajkezelésben részesítettünk, majd a vetéssel egy menetben talajoltást alkalmaztunk. A későbbiekben a talajéletet jellemző tulajdonságokat és a modellnövényként használt kukorica fejlettségét különböző módszerekkel mértük fel.

2. CÉLKITŰZÉS

A manapság egyre inkább kiszámíthatatlanabbá váló időjárási viszonyaink között, egyre fontosabb feladat a talajt minél inkább kímélő módszerek kidolgozása és alkalmazása az abban rejlő termőpotenciál minél mélyebb kiaknázása érdekében. Ennek megvalósítása során azonban nem kerülhetjük meg a gazdasági viszonyokhoz való teljeskörű alkalmazkodást sem. A szakdolgozatom célja a különböző talajállapotokat is reprezentálni hivatott talajkezelések és a talajoltás (*Bacillus simplex*, *Pseudomonas frederiksbergensis*, *Agreia pratensis*, *Paenibacillus peoriae*, *Exiguobacterium acetylicum*, *Azospirillum largimobile*, *Azospirillum brasilense* fajokkal) hatásának vizsgálata volt a talajéletet jellemző és a növényi fejlettséget leíró tulajdonságokra:

- növénymagasság,
- klorofill tartalom,
- gyökérkapacitás,
- gyökérnyaki átmérő,
- biomassa,
- gyökértömeg,
- labilis széntartalom (POXC),
- dehidrogenáz enzim (DHA) aktivitás.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. TALAJTÍPUSOK

A talaj a Föld legkülső, mállott szilárd kérgé, amely a talajképződési folyamatok együttes hatására végbemenő anyag és energiaforgalmi folyamatok eredményeképpen jött létre a litoszféra, az atmoszféra, a hidroszféra és a bioszféra kölcsönhatásának zónájában. A talaj egy négydimenziós, négyfázisú (szilárd, folyékony, légnemű, talajbióta) polidiszperz rendszer, melynek specifikus tulajdonsága a termékenység, amely alapján képes biztosítani a bióta és a növényzet alapvető életfeltételeit, vízzel és tápanyaggal való ellátását (Szalai és Jakab, 2011).

Hazánkban a növénytermesztési gyakorlat általánosságban hat fő talajtípust (mezőszégi talajok, barna erdőtalajok, réti talajok, laza és homoktalajok, szikes talajok, sekély termőrétegű talajok) és ezeken belül számos altípust különböztet meg, melyeket a legkülönbözőbb talajképző tényezők hatásai együttesen alakítanak ki. A termőhelyi típusok a természetet limitáló tényezők elsődleges jellemvonásait is magukban hordozzák (Stefanovits et al., 1999). A különböző talajtípusok a legváltozatosabb elrendezésben és egymással való keveredésben jelenhetnek meg, akár csak egy-egy parcellát tekintve is, így különböző típusú, a termékenység tekintetében lényegesen eltérő talajokkal találkozhatnak a termelők. Ezek az adottságok az elérhető termés nagyságát és a gazdaságosan termeszthető kultúrnövények körét is behatárolják. A talajok tulajdonságainak ismerete lehetővé teszi egy gazdaság tábláinak differenciálását és a termesztési eljárások táblaszintű vagy a ma már terjedőben lévő helyspecifikus adaptációját. Ezennel lehetőség nyílik a differenciáltabb tápanyagutánpótlási szaktanácsadásra is.

A legfontosabb tényezők, melyek a talajok agronómiai tulajdonságait kialakítják, a humuszmenyiség, a termőréteg vastagság, a víz- levegő- és hőgazdálkodás, a tápanyagfeltáródás, a kötöttség, a mechanikai összetétel, a szerves kolloidok mennyisége, a kémhatás és a sótartalom (Prettl, 2021). A talajok termőképességét minden olyan tényező leronthatja, amely túlzott vagy nem elegendő mértékben jelenik meg. Ezek lehetnek fizikai, kémiai és biológiai jelenségek, illetve mindezek együttese (Buzás és Fekete, 1979).

3.1.1. A BARNÁ ERDŐTALAJOK JELLEMZŐI

A barna erdőtalajok közös jellemzője, az erdők és a fásszárú növényzet által létrehozott mikro- és talajklíma. Ez a talajtípus a növénytakaró által termelt, évenként a földre hulló és rétegződő nagy mennyiségű szerves anyag, valamint az azt elbontó, főként gombákból felépülő mikroflóra hatására jön létre. A biológiai, kémiai és fizikai hatások a talajok kilúgozását, elsavanyodását és szintekre tagolódását váltják ki. A barna erdőtalajok a szántóföldi termőhelyi

csoportokon belül a II. csoportba tartoznak. Általános tulajdonságaik a savanyú kémhatás, a mély termőréteg, a kiváló vízgazdálkodás, a jó tápanyag-szolgáltató képesség és a viszonylag könnyű megművelhetőség. A legigényesebb kertészeti és szántóföldi növények is sikeresen és biztonságosan termeszthetők rajtuk.

A humuszosodás jellemző ezen talajokra, a termelt szerves anyag savanyú, az erdei alomtakaró bontását többnyire mikroszkopikus gombák végzik. Az erdőtalajokra erőteljes kilúgzás és savanyú kémhatás jellemző. A kilúgzás következménye a savanyodás, mellyel ellentétes a biológiai akkumuláció, amit a fás növényzet által a talajra került növényi tápanyagok hoznak létre. Az agyagosodás során agyagásványok képződnek a talajszintekben, az elsődleges szilikátok mennyisége csökken, míg az agyagásványoké növekszik. Az agyagosodás előfeltétele az agyagásványok építőköveit tartalmazó ásványi összetétel, valamint a mállást segítő biológiai folyamat. Az agyagvándorlás során a képződött agyagásványok a mélyebb rétegekbe vándorolnak. Ezáltal a felső szintek elszegényednek és az alsó szintek gazdagodnak agyagtartalomban, azaz textúradifferenciálódás jön létre. Az agyagszétesés jelensége az elsődleges és másodlagos agyagásványok felbomlását jelenti alkotóelemeikre (kovasav, alumínium, vas). A vas és alumínium az alsóbb rétegekben felhalmozódik oxidhidrátok alakjában. A szétesés előfeltétele a savanyú kémhatás, a savanyú szerves anyag (Stefanovits et al., 1999). Általában megállapítható, hogy a talaj nedvességtartalmának növekedésével egy bizonyos határig növekszik a kationok és anionok felvétele. Ha viszont a talajpórusok megtelnek vízzel, az kedvezőtlenül hat a gyökérlégzésre és csökken az ionfelvétel. Így közvetetten befolyásolja a növények növekedését is. Általános tapasztalat, hogy minél savanyúbb egy talaj, annál nagyobb mértékű az anionadszorpció. A talaj savanyúsága nagymértékben növeli a foszfátok, a vas, az alumínium és a mikroelemek felvehetőségét. Emellett a talajkolloidok stabilitása és kationmegkötő képessége csökken, a nehézfémek nagyobb mértékben oldódnak, míg a kicserélődés folytán a növény szempontjából értékes elemek kimosódnak (Fülek, 1999).

Savanyú talajokban jellemző a foszfát visszatartása, melyet az ortofoszfát-ionok vassal és alumíniummal, esetleg szilikát-agyagokkal való reakciója okoz. Így oldhatatlan alumínium- és vasvegyületek jönnek létre, melyek kicsapódhatnak, vagy adszorbeálódhatnak az agyagrétegek felületén. Minél savanyúbbak az agyagok, annál több adszorbeált alumíniumot és vasat tartalmaznak és ezek vannak a legnagyobb hatással a foszfor visszatartására (Samuel és Werner, 1966).

3.1.2. A RÉTI TALAJOK JELLEMZŐI

A réti talajok főtípusába azokat a talajokat soroljuk, amelyek keletkezésében az időszakos túlnedvesedés játszott szerepet. Ez lehet időszakos felületi vízborítás vagy a közeli talajvíz jelenléte. A magas víztartalom miatt ezekben a talajokban sokszor levegőtlen alakul ki, melynek eredményeként jellegzetes szervesanyag-képződés történik, illetve az ásványi részek redukálódása is megfigyelhető. A réti talajok a III. szántóföldi termőhelyi csoportot alkotják. Általános jellemzőik az erős kötöttség, a jó tápanyagkészlet, de gyenge tápanyag-feltáródás. Víztartó képességük nagy, vízvezetésük kedvezőtlen. Felmelegedésük ebből adódóan lassú folyamat, mely következtében lassul a gyökerek tápelemfelvétele is, mivel vagy a gyökér légzési tevékenysége, vagy a sejtfal áteresztőképessége lecsökkent. A növénytermesztést az évszakonkénti, főleg a tavaszi magas talajvízállás, valamint a nagyobb esők utáni túltelítődés kedvezőtlenül befolyásolja. Művelhetőségük időnként kedvezőtlen melyet az erős kötöttségük és a hektikusan alakuló víztartalmuk idéz elő. A kora tavaszi vetésű, valamint tartósan magas talajvízállást és vízborítást nem tűrő növények termesztésére ennél fogva nem ajánlott, de a nagy vízigényű növények biztonságos termesztése is korlátozott rajta (Stefanovits et al., 1999).

Ezen talajoknál a humuszanyagok mindig feketék, mivel levegőtlen körülmények között képződtek és vassal is kapcsolódtak. A humuszos szint alsó határa általában éles, a szerves anyag mennyisége pedig magas. Szintén jellemző kilúgzás, melynek oka a környező területekről lefolyó víztöbblet, illetve a magas talajvízszint. A kapilláris zóna felső határa sok esetben eléri a feltalajt is. A felső szintek kilúgzása ezért gyakori, de a szénsavas meszet tartalmazó kőzetten kialakult réti talajok nem veszítik el teljes karbonáttartalmukat. A levegőtlenesség okozta vasmozgás miatt a mélyebb szintekben a kétértékű vasvegyületek jellemzők, ezért kékes, zöldes, úgynevezett glejrétegek képződnek. Sófelhalmozódás is lejátszódhat, hasonlóan a szikesekhez, csak itt enyhébb formában. Inkább a szulfátok felhalmozódása gyakori. Az adszorbeált nátrium tartalom nem éri el a szikesek értékét, káros hatása azonban így is megmutatkozik. A nátrium mellett a kicserélhető magnézium is jelentős. A réti talajoknál jellemző a fölösleges víz, mely levegőtlen viszonyokat okoz, ahogy a barna erdőtalajok esetében is kedvezőtlenül hat a gyökérlégzésre, csökken az ionfelvétel (Fülek, 1999). Ezen túl a foszfor erős megkötődése, valamint a nitrogén nehéz tavaszi feltáródása jellemzi a réti talajokat. A termés különösen nedves években csekély, száraz években viszont az átlaghoz képest jobb lehet.

Ezt kiegészítve a 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisa

mutatja, hogy a nagyobb kötöttségű, agyagos talajokban több a rendelkezésre álló foszfor tápanyag és kevesebb hatóanyagot kell kijuttatni a gazdaságos termésszinthez mint a laza, inkább homokos talajokon. A nitrogén tekintetében szintén kevesebb, fele annyi tápanyag szükséges a gazdaságos termésszint eléréséhez kötött, agyagos talajokon (Prettl, 2021).

3.2. A KUKORICA ÖKOLÓGIAI IGÉNYEI ÉS A TERMESZTÉSÉNEK HAZAI JELLEMZŐI

A kukorica az egyik legfontosabb kultúrnövény, mely ennek megfelelően a világ és Magyarország növénytermesztésében is meghatározó szerepet játszik. Az utóbbi években ugyanakkor vetésterülete hazánkban csökkenő tendenciát mutatott, aminek elsődleges oka a termésstabilitás csökkenése és ezáltal a jövedelmezőség kiszámíthatatlanná válása volt. A globális klímaváltozás okozta egyre kiszámíthatatlanabb, extrém anomáliákkal jellemezhető időjárás, a csökkenő csapadékmennyiség és a magas 30-35 °C feletti tartós hőmérséklet nem kedvez a kukorica zavartalan fejlődésének (Ben-Asher et al., 2008; Nagy et al., 2010). Az elmúlt évszázadban az évi középhőmérséklet hozzávetőlegesen 1 °C-kal nőtt, a csapadék sokévi átlaga viszont ezzel egyidejűleg csökkent (Fekete et al., 2017; Tóth et al., 2013). A csapadék mennyiségének csökkenésével együtt egyre inkább változik az eloszlása is, míg kisebb gócpontokban a sok havi átlag képes leesni napok alatt, addig pár kilométerre ebből a sok csapadékból semmi sem érzékelhető (Bartholy et al., 2007). Ezek alapján világossá válik, hogy miért csökken a gazdálkodók termelési kedve a kukoricát illetően.

A mai prémium kukoricahibridek termőképessége kiemelkedő, azonban az ökológiai és agrotechnikai tényezőkre kiváltképp érzékeny növény (Pepó et al., 2006). Vizsgálatok szerint az extrém időjárási anomáliáktól nem szenvedő évjáráti hatás akár 20 %-os termésingadozást is eredményezhet (Kovács, 2020). Az időjárási tényezők kedvezőtlen hatása abiotikus stresszhatásként jelentkezik a kukorica vegetatív és generatív fejlődési szakaszaiban egyaránt.

Magyarországon a kukorica országos termésátlaga átlagos vagy kimondottan csapadékos években eléri a 7-8 t/ha -t, ami jónak mondható. Az aszályos években azonban a termésátlag mindössze 4-5 t/ha körül alakul, ami 50-60%-os eltérést mutat a kedvező évekhez képest (Kovács, 2020). Ezt a nagymértékű termésátlag ingadozást lenne szükséges ellensúlyozni vagy legalább mérsékelni, amit szakszerű agrotechnikai beavatkozásokkal, valamint a talaj és növény közötti biológiai folyamatok megértésével és támogatásával tudunk megvalósítani.

A jövőben a globális éghajlatváltozás miatt egyre nagyobb szerep jut a megfelelő tőszám

és az ökológiai adottságokhoz jól adaptálódó és jó stressztűrő képességű hibrid megválasztása mellett az olyan technológiai elemeknek, mint a talajoltás, amely olyan további természet meghatározó tényezőkre is kedvezően hathat, mint az egyre növekvő inputanyagárak.

3.2. TALAJOLTÁS ÉS OLTÓANYAGOK

A szerves trágyázás elhagyása, a műtrágyák egyoldalú használata és a talaj túlzott forgatásának hatására a felső talajréteg a termőterületek nagy részén valamilyen mértékben degradálódott, ami a talajélet és a humusztartalom csökkenését is maga után vonta. A talajszerkezet romlását a klímaváltozás káros hatásai is gyorsítják. A talajok romlása a legtöbb esetben együtt jár a mikrobiális talajélet intenzitásának csökkenésével, pedig a növények gyökérkörnyezetében (rizoszféra) megtelepedő mikrobák döntően hozzájárulnak a tápanyagforgalom beindításához és még jónéhány hasznos folyamat indukálásához.

A talaj termékenységét a megfelelő szerkezet, szervesanyag-tartalom, illetve a változatos talajélet biztosítja. A talajéletet meghatározó makro-, mezo- és mikrofauna közül legnagyobb diverzitással a legutóbbi, mikroszervezetek által alkotott közösség bír. A talajok termőképességének kulcsa az abban lezajló intenzív talajélet. A különböző mikrobiológiai készítmények (a 36/2006. V. 18. FVM rendelet meghatározása szerint "a talaj termékenységét javító mikroszervezeteket (baktériumokat, gombákat, algákat) tartalmazó terméknövelő anyag, amely mentes az emberre fertőzőképes és a talaj természetes mikrobiótáját kedvezőtlenül befolyásoló szervezetektől") talajoltással történő kijuttatásával nagymértékben segíthetjük a talajélet aktivitását és ezzel a talajok minőségének javulását, amely hosszú távon a termés mennyiségére és minőségre is pozitív hatással van. Ezen készítmények olyan mikrobákat tartalmaznak, melyek optimális életteret találnak a növényi gyökerek zónájában, ahol tevékenységükkel hozzájárulnak a növény fejlődéséhez; tápelemekkel látják el a növényt, nitrogént kötnek vagy a kötött formában jelenlévő foszfort és káliumot felvehetővé teszik. A tápanyag-szolubizáló mikroorganizmusok alkalmazása ilyen módon a szintetizált műtrágyák alternatívái lehetnek (Bíró et al., 2000).

A mikrobiológiai termékek használatával a talajok szervesanyag-, vagyis humusztartalmát is növelni tudjuk (Kotroczó és Fekete, 2020). A készítményekben található mikrobák segítik a talajéletet és a humifikációt. Ezen termékek sok esetben olyan mikroorganizmusokat is tartalmaznak, melyek nyálkaszerű, ún. exopoliszacharidot (EPS) termelnek, amivel támogatják a talajszemcsék képződését és ezzel a talaj épülését. Ennek köszönhetően javul a talaj szerkezete, jobbá válik a vízmegtartó képessége és hőháztartása is.

Nem elhanyagolható a talajoltó készítmények biokontroll hatása sem: alkalmazásukkal

elősegíthetjük a növények természetes ellenállóképességét a legkülönbözőbb kórokozókkal, továbbá az abiotikus stresszfactorokkal szemben. Ugyanakkor a talajoltó termékekben lévő baktériumtörzsek növényi hormon-szerű anyagokkal (pl. indolecetsav) támogathatják a csírázó és kelő növényeket, a későbbi erőteljesebb gyökérszövet kialakítását, illetve a gyökérszőrők nagyobb abszorpciós kapacitásának növelését.

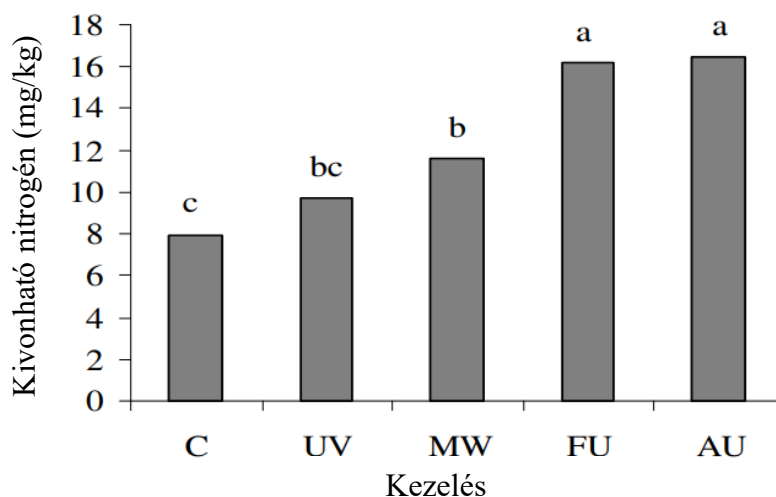
Egyszerűen megfogalmazva a talajoltás hatására tehát egészségesebb lesz a talaj és az abban növekvő növényállomány, valamint gazdaságosabbá tehetjük a termelést. Ezen oltóanyagokban lévő jótékony mikroorganizmusok élettevékenységére a környezeti tényezők, a talajtípus és annak fizikai-kémiai tulajdonságai azonban erős hatással bírnak és alapvetően meghatározzák az alkalmazásuk sikerét (Dudás et al., 2017; Juhos és Madarász, 2016; Szabó et al., 2022).

3.3. TALAJKEZELÉS (STERILIZÁLÁS)

A mikroorganizmusok mindenütt jelen vannak a talajban és számos talajfolyamatban fontos szerepet játszanak. Annak tisztázása érdekében, hogy a talaj mikroorganizmus-funkciói hogyan befolyásolják a talajban végbemenő reakciókat, hatékony talajsterilizáló módszerek szükségesek. Így összehasonlíthatóvá válnak a mikroba mentes és a mikrobákat tartalmazó ugyanazon helyről származó talajok is. A talaj sterilizálása magában foglalja a talajban terjedő károsítók bármely osztálya elleni védekezést vagy elpusztítását, mint például gyomok, gyommagvak, fonálférgek, gombák és baktériumok (Nutter, 1957).

A legismertebb sterilizálási módszerek az autoklávozás, a kloroformos gőzölés, az etilén- vagy propilén-oxidos kezelés, a sütőben melegítés, az ultraibolya (UV) besugárzás, a gamma- és a mikrohullámú sugárzás. A különböző sterilizálási módszerek más-más hatékonysággal és hatással vannak a talaj biológiai, kémiai és fizikai tulajdonságaira, ezért a sterilizálás módja jelentősen változhat a vizsgálati célnak megfelelően (Li et al., 2023). Például Stroetmann és munkatársai (1994) azt találták, hogy a gamma-sugárzásnak van a legjobb sterilizálási hatékonysága a többi tinalizálási módszerhez, a frakcionált fűtéshez és az UV-sugárzáshoz képest. Wolf és munkatársai (1989) azt találták, hogy a kobalt-60 besugárzás, a propilén-oxid, a higany-klorid, és az autoklávozás hatékonyabb volt, mint a mikrohullámú sütő, a kloroform vagy az antibiotikus kezelések. Arról is beszámoltak, hogy a különböző sterilizációs módszerek jelentősen eltérő talajtulajdonságokat, mint a pH, a kivonható Mn-, Al- és Fe-tartalmat eredményeztek. Li és munkatársai (2023) a szerves anyag tekintetében a sterilizálás után minden esetben csökkenő tartalmat mértek, míg a pH értékben minden kezelés esetében szignifikánsan nagyobb értékeket figyeltek meg, mint a kontroll (pH=7,7)

talajmintákban. Különösen a mikrohullámú kezelés (pH=8,2) esetében. Ezzel szemben Razavi és Lakzian (2007) éppen ellentétes hatásról számoltak be a pH-t illetően. Vizsgálatukban mindegyik sterilizációs módszer szignifikánsan csökkentette a pH-t, de növelte az elektromos vezetőképességet (EC), az optikai sűrűséget (OD), a kivonható szén és nitrogén mennyiséget a nem sterilizált talajmintákhoz képest. Az eredményeik azt mutatták, hogy az autoklávozás a leghatékonyabb módszer a talaj mikroorganizmusainak eltávolítására és az ultraibolya besugárzás volt a legkevésbé hatékony. Ezek a változások valószínűleg a humuszanyagokból és a halott mikroorganizmusokból felszabaduló oldható szerves savaknak voltak köszönhetőek. Az autoklávozáskor fellépő magas hőmérséklet és gőznyomás hatására nagy mennyiségben szabadult fel kivonható szén, míg a mikrohullámú kezelés és az ultraibolya besugárzás nem volt jelentős változással erre. Ez valószínűleg a kezelések rövid időtartamára volt vezethető vissza (Razavi és Lakzian, 2007). Hasonlóképpen, szinte minden kezelésben nőtt a K_2SO_4 kivonható nitrogén mennyisége a kontrollhoz képest. Leginkább az autokláv és a gőzöléses kezelések voltak a legnagyobb hatással. A nitrogénkötések hasítása a talaj biomassza és a nem-biomassza összetevőiben nagyobb energiaszükséglettel jár a C-C kötések hasításához képest. A magas hőmérséklet és hosszú kezelési idő az autoklávozás és a fertőtlenítő gőzölés során feltehetően magas kivonható nitrogéntartalom felszabadulását eredményezte a kontrollhoz képest. Az ultraibolya és mikrohullámú besugárzás közepes értékeket vettek fel a kivonható nitrogéntartalomra.



1. ábra: A különböző sterilizálási módszerek hatása a K_2SO_4 kivonható nitrogéntartalomra. A hasonló betűvel jelölt átlagértékek nem különböztek szignifikánsan ($p < 0,05$). C=kontroll, AU=autokláv, MW=mikrohullámú sugárzás, FU= kloroform gőzölés, UV= ultraibolya besugárzás, Razavi és Lakzian (2007) nyomán.

A mikrohullámú sugárzás felhasználása a talaj (részleges vagy teljes) sterilizálására nem

olyan széles körben alkalmazott, mint más fizikai vagy a talaj sterilizálásának kémiai módszerei (Zagal, 1988). A mikrohullámok nem ionizáló elektromágneses hullámok, körülbelül 300 MHz-től 300 GHz-ig terjedő frekvenciával, 1 m és 1 mm közötti hullámhossz-tartománnyal (Brodie, 2019). A mikrohullámok a talajban és a sejtekben lévő vizet hőfelvételre készítetik, ami olyan magas hőmérsékletet eredményez, amely elpusztítja a talaj élőlényeit. Ezért a mikrohullámok letális hatása nagyobb nedves talajok esetén (Trevors, 1996). A mikrohullámú sugárzást gyorsnak, egyszerűbbnek és kevésbé veszélyes módszernek tartották a talaj sterilizálására anélkül, hogy a talaj tápanyag viszonyiban jelentős változást okozna (Zagal, 1988). Azonban néhány tanulmány már jelezte a mikrohullámú talajkezelés hatását a szén és a nitrogén mineralizációjára, illetve a mikrobiális biomassza és a kivonható nitrogén mennyiségére. A talajok mikrohullámmal való kezelése növelte a kivonható szén mennyiségét közvetlenül a kezelés után (Zagal, 1988), valamint javította a terméshozamot és a nitrogén felhalmozódását a száraz biomasszában szántóföldi körülmények között (Khan et al., 2019). Mindamellett kiváló gyomirtó hatással is járt (Khan et al., 2019).

Ferriss (1984) talajmintákon végzett kísérlete azt mutatta, hogy a mikrohullámú sütőben 150 másodperces kezelés eltávolította az összes *Pythium*, *Fusarium* és a fonálféreg fajok populációit, kivéve a *Heterodera glycines* fajt. Összehasonlítva az autoklávozással vagy a metil-bromidos kezeléssel, a mikrohullámú kezelések kevesebb tápanyagot szabadítottak fel a talajoldatban, de kevésbé volt hatással a talaj prokariótáira. Emellett kevesebb fuzárium és egyéb gombák általi kolonizációt eredményezett a talajban.

Speir és munkatársai (1986) a mikrohullámú energia hatását vizsgálták alacsony termőképességű talajon mikrobiális biomassza, nitrogén, foszfor és foszfatáz aktivitás szempontjából. A mikrohullámú kezelés időtartamának növekedése jelentősen megnövelte a talaj nitrogénszintjét a kezeletlen talajhoz képest, de a rendelkezésre álló foszfor koncentráció a kezelési idő növelésével csökkent.

Mikrohullámú kezelésben részesített talajban a nyír (*Betula pendula*) hajtása és gyökérnövekedése jelentősen megnőtt (Brodie et al., 2019). Magasabb száraz hajtás tömeget (84 mg) értek el a talaj mikrohullámú besugárzásával (120 s), mikorrhiza kiegészítés nélkül, a nem besugárzott talajhoz (25 mg) képest. Egy másik tanulmány beszámolt, hogy a mikrohullámú (915 MHz) talajkezelés növelte az oldott szerves szén (+1,6-szoros a kontrollhoz képest), a szerves foszfor (+1,2-szeres a kontrollhoz képest) és nitrát tartalmat a talajban (Maynaud et al., 2019). Ebbe a talajba *Medicago truncatula* előcsírázott magjait helyezték és azt találták, hogy a száraz biomassza felhalmozódása jelentősen megnőtt a mikrohullámmal való melegítés (75-80°C) hatására, összehasonlítva a kezeletlen kontroll talajokkal.

Cooper és Brodie (2009) megfigyelték, hogy az átlagos nitrit koncentráció minden vizsgált talajmélységben a mikrohullámú kezelés időtartamának függvényében jelentősen változott. 2 perc után nőtt, míg a 4 percet elérve visszacsökkent az eredeti koncentrációszintre. A mikrohullámú melegítés időtartama szignifikánsan befolyásolta a talajban lévő foszfát koncentrációt is. A rendelkezésre álló átlagos foszfát koncentráció minden mélységben 4 perc kezelési időt követően jelentős csökkenést szenvedett. Ezen anomáliák okát azonban nem sikerült megállapítaniuk.

3.4. TALAJHASZNÁLAT-ÁLLAPOT JELLEMZÉSE

A talajállapot jellemzésére egyik legelterjedtebb módszer a talajok teljes szervesanyag tartalmának, illetve az azokhoz kapcsolódó tulajdonságok mérése. Ezek általában a talajok teljes szerves szén (TOC) tartalmát határozzák meg (Kotroczó et al., 2017). Ez az érték azonban a különböző talajhasználatok hatására csak több év alatt változik meg, így a rövidtávú változások kimutatására nem alkalmas. Ilyen esetekben a teljes szerves széntartalom meghatározása helyett alkalmasabb lehet a talajok labilis szén tartalmának (POXC) mérése, ami a teljes szerves széntartalomnak csak egy kisebb része, de jóval érzékenyebb a megváltozott talajhasználat hatásának a követésére és képes kimutatni a mikrobiális biomassza, az apró szemcséjű szerves anyagok és a szénhidrátok széntartalmát (Weil és Magdoff, 2004; Prettl et al., 2022).

A talajban és a környezetben számos enzim, például oxidoreduktázok, hidrolázok, izomerázok, liázok és ligázok találhatóak, melyek mindegyike kulcsfontosságú biokémiai funkciót tölt be az anyag- és energiaátalakítási folyamatokban (Gu et al., 2009). A talajok mikrobiológiai állapotának jellemzésére használható módszer a dehidrogenáz enzim (DHA) aktivitás vizsgálata, amely a szerves anyagok lebontási képességét jellemző tulajdonság. A talajdehidrogenázok az oxidoreduktáz típusú enzimek fő képviselői. A dehidrogenázok jelentős szerepet játszanak a talaj szervesanyagainak biológiai oxidációjában úgy, hogy a hidrogént a szerves szubsztrátumokból a szervesen akceptorba juttatják.

A DHA meghatározása nagy mennyiségű információt adhat a talaj biológiai jellemzőiről, ugyanis számos környezeti tényező, mint a talaj nedvességtartalma, az oxigén elérhetősége, az oxidációs-redukciós potenciál, a kémhatás, a szervesanyag-tartalom, a talajprofil mélysége, a hőmérséklet, az évszak, a nehézfém-szennyezettség és a talajtrágyázás vagy a növényvédő szerek használata is jelentősen befolyásolják a DHA-t a talajban.

A talaj teljes DHA-értéke a különféle dehidrogenázok aktivitásától függ, amelyek minden élő mikrobiális sejtben intracellulárisan jelen vannak, miáltal minden élő szervezet

enzimrendszerének alapvető részét képezik (Wolińska és Stepniewska, 2012).

3.5. A NÖVÉNYI FEJLETTSÉG JELLEMZÉSE

A talajkezelések – beleértve a talajoltást is – hatásának megítélése a termelőket is elsősorban foglalkoztató növényi tulajdonságok felvételezésén keresztül a legegyszerűbb. Mivel általában nem igényelnek laboratóriumi felszerelést vagy bármilyen speciális eszközt, így bárki számára elérhetőek. A kukorica várható terméshozama már a tavaszi kelés és korai fejlődés szakaszában (6 leveles stádium) eldől, ezért kifejezetten fontos, hogy ezen fejlődési stádiumban ideális körülmények között fejlődjenek a növények (Ivány et al., 1994). Mivel az időjárásra nincs hatásunk, az ideális körülményeket leginkább a talajállapoton keresztül tudjuk elősegíteni.

A legegyszerűbb felvételezési módszer a növény magasságának megfigyelése. Hasonlóan egyszerű a felszíni biomassza és a gyökértömeg mérése, azonban ehhez a mérendő növényt el kell választanunk a talajtól, így azt további mérésre már nem használhatjuk fel.

A növények tápanyagtartalmának helyszíni vizsgálatára alkalmas módszer a levél klorofill koncentrációjának mérése. A klorofill tartalom biztosítja a napsugárzás energiájának felhasználást a sejtekben végbemenő szintetikus folyamatokhoz. A levelek klorofill tartalma szorosan összefügg a növény nitrogén ellátottságával, így ezen egyszerűen elvégezhető mérésből következtethetünk a növényzet tápanyagellátottságára (Padilla et al., 2018). Az egészséges, tápelemmel jól ellátott növények klorofill tartalma magasabb, mint a stresszhatásnak kitett, vagy alacsony ellátottságúaké. Mivel a klorofill mérés nem destruktív módszer, nem igényli a növényi szövetek bármilyen eltávolítását és gyorsan, egyszerűen, bármikor elvégezhető, így a termelők számára is hasznos eszköz és információforrás lehet.

A gyökérkapacitás a növények gyökérzetének kiterjedtségét és ezzel együtt a szárazságtűrését is jellemző értékszám. A termelőközegbe helyezett talajelektrod és a gyökérnyakba szúrt növényelektrod között mérhető EC nagysága egyenesen arányos a gyökérzet felületével, pontosabban annak működőképes részével (Cseresnyés et al., 2018). A rendszerben mérhető kapacitás megjelenését az aktív gyökérmembránok elektromos polarizációja és relaxációja idézi elő, mely az alkalmazott váltakozó áram amplitúdójában és fázisában egyaránt változást okoz (Cseresnyés et al., 2018). A hagyományos gyökérvizsgáló módszerekkel ellentétben, melyek destruktív jellegük miatt alkalmatlanok egyazon növény ismételt mérésére, ez a módszer nem igényli a gyökérzet megsértését, így egy növényegyed változásai is nyomon kísérhetőek (Gu et al., 2021). Ezen tulajdonsággal kapcsolatban áll a gyökérnyaki átmérő, ezért együtt érdemes őket kezelni.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. FELHASZNÁLT TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS KEZELÉSÜK

A kísérletet párhuzamosan, kétféle típusú talajon állítottuk be. Egy savanyú kémhatású gyenge P-ellátottságú és alacsony szervesanyag tartalmú agyagbemosódásos barna erdőtalajt (pH=4,9; humusz=1,64%; felvehető P₂O₅=66 mg/kg), valamint egy semleges kémhatású magas P és szervesanyag tartalmú típusos réti talajt (pH=6,75; humusz=2,53%; felvehető P₂O₅=303 mg/kg) használtunk. A talajok termőhelyei Baranya megyében, a Mecsektől északra helyezkednek el. Az agyagbemosódásos barna erdőtalaj (BET) termőhely Ligetén, a típusos réti talaj (RÉTI) Oroszlón található (N: 46° 12' 56" E: 18 09' 47"; N: 46° 12' 44" E: 18 06' 52"). A talajokat 0-20 cm-es mélységből gyűjtöttük a talajkezeléseket megelőző napon.

Egy tenyésztedény hozzávetőlegesen 450 g talajt tartalmazott, melyet mindkét talajtípus esetében háromféle kezelésben részesítettünk a következők szerint: hűtött (4°C), 22°C-on tartott és melasz hozzáadásában részesített, valamint csíráatlanítás céljából három perces időtartamú mikrohullámos (2450 MHz, 800 W) kezelést követően vékony rétegben elterítve egy hétig UV fényen tartott. A kezeléseket 2023. május 21-én végeztük.

4.2. AZ OLTÓANYAG TULAJDONSÁGAI ÉS KEZELÉSÜK

A talajoltást a gyártó által javasolthoz képest kétszeres dóziszú Bac1 készítménnyel végeztük a vetéssel egy menetben, május 30-án. Ezzel párhuzamosan ugyanezen készítmény előlt baktérium kultúráját és külön tenyésztedényben kontrollként vizet alkalmaztunk. A Bac1 talajoltó baktérium készítmény képes a savanyú talajok egyes negatív irányú folyamatait és az alacsony kémhatásból adódó termelést korlátozó adottságokat pozitív irányba befolyásolni. A gyártói ajánlás alapján elsősorban savanyú, 4-7,5 pH értékkel rendelkező talajokon képes pozitív hatást kifejteni. A készítményben hatékony nitrogénkötők, kálium, foszfor és mikroelem mobilizáló, növényi növekedést serkentő hormonanyagokat termelő, talajszerkezetet és talajegészséget biztosító baktériumok stressztűrő típusai találhatóak, melyek a teljes tenyészidőszak alatt képesek támogatni a növénykultúrát. Képesek a kötött, növények számára nem elérhető tápanyagokat, elsősorban foszfort és káliumot, mikroelemeket talajásványokból felszabadítani és a növények számára elérhetővé tenni. Emellett jelentősen növelik a műtrágyák hasznosulási mértékét. Javítják a talaj vízgazdálkodását, csökkentik a termesztett növény aszálykitétttségének mértékét, valamint sziderofór termelők, ezáltal képesek a talajból fertőző kórokozó gombákat is visszaszorítani.

A készítmény hét baktériumtörzset tartalmaz (*Bacillus simplex*, *Pseudomonas*

frederiksbergensis, *Agreia pratensis*, *Paenibacillus peoriae*, *Exiguobacterium acetylicum*, *Azospirillum largimobile*, *Azospirillum brasilense*), átlagos élőcsíraszám tartalma $1,5 \times 10^9$ sejt/ml.

4.3. FELHASZNÁLT ANYAGOK (MELASZ)

A melasz, a cukornád vagy a cukorrépa feldolgozásának cukoripari mellékterméke, amely általában 30-50%-os cukortartalma mellett makro- és mikrotápanyagokat (N, P, K, Ca, Mg és Fe) is tartalmaz. A talaj termékenységének javítására, kondicionálásra vagy mikrobiális aktivitásának javítására használható (Nugroho et al., 2023).

Melasz (Rapunzel, 57%) hozzáadását a vetés és azt követően még három alkalommal (05.30., 06.10., 06.17., 06.24.) végeztünk. Időpontonként 20 ml 1,2 g/l koncentrációjú oldatot adtunk a tenyészedényekhez. A többi tenyészedényhez ugyanakkor megegyező mennyiségű vizet adagoltunk.

4.4. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS

A vizsgálatot a MATE Budai Campusának Agrárkörnyezettani Tanszékén folytattuk le 2023. május 21. és július 30. között. Minden talaj és oltóanyag kezelés kombinációjából 4 db tenyészedényt használtunk az 1. táblázatnak megfelelően. A tenyészedények 500 ml méretűek voltak, melyek alját kilyukasztottuk az alulról történő öntözést lehetővé téve és kb. 450 g talajt tartalmaztak. A hasonló talajkezeléseket ugyanazon tálcán tartottuk. Ennek megfelelően minden tálcán 12 db tenyészedényt helyeztünk el. A kelést követően a tálcákat random elhelyezésben a szabad ég alatt tartottuk. A tenyészedényekbe két szem kukorica vetőmagot helyeztünk, a felszíntől mért 3 cm mélységben, melyekből a kelést követően csak egy darabot hagytunk meg minden edényben. A vetést május 30-án végeztük el.

1. táblázat: A kísérleti elrendezés, B=Bac1 oltás, EB= Elölt Bac1 oltás, K=Kontroll (víz), BET=Barna erdőtalaj, RÉTI=Réti talaj

1	2	3	4
B	K	EB	B
5	6	7	8
EB	B	K	EB
9	10	11	12
K	EB	B	K

I. BET hűtött (4°C)

13	14	15	16
B	K	EB	B
17	18	19	20
EB	B	K	EB
21	22	23	24
K	EB	B	K

II. BET 22°C+melasz

25	26	27	28
B	K	EB	B
29	30	31	32
EB	B	K	EB
33	34	35	36
K	EB	B	K

III. BET mikro+UV

37	38	39	40
B	K	EB	B
41	42	43	44
EB	B	K	EB
45	46	47	48
K	EB	B	K

IV. RÉTI hűtött (4°C)

49	50	51	52
B	K	EB	B
53	54	55	56
EB	B	K	EB
57	58	59	60
K	EB	B	K

V. RÉTI 22°C+melasz

61	62	63	64
B	K	EB	B
65	66	67	68
EB	B	K	EB
69	70	71	72
K	EB	B	K

VI. RÉTI mikro+UV

4.5. TALAJ- ÉS NÖVÉNYVIZSGÁLATOK

Növénymagasság: a növények föld feletti részének hosszát mértük, egyenes mentén, annak leghosszabb levelét véve a végpontnak, június 15-én és június 22-én.

Klorofill koncentráció: a klorofill mérésére Apogee MC-100 készüléket vettünk igénybe. A készülék a levélen áthaladó vörös és infravörös fény intenzitásának arányából határozza meg a klorofill koncentrációját, ezzel a mérés nem destruktív és közel azonnali eredményt ad. A készülék felső részén lévő részét rácsíptettük a növény levelére, majd a műszer abszolút mértékegységben ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$) jelenítette meg a koncentrációt. Mindezt növényenként háromszor ismételtük meg, és az értékek átlagát használtuk a továbbiakban. A mérést június 22-én végeztük.

Gyökérkapacitás: ehhez a méréshez egy Voltcraft LCR-300 kapacitás, induktivitás és ellenállás mérésére alkalmas készüléket használtunk Cseresnyés és munkatársai (2018), valamint Gu és munkatársai (2021) vizsgálataiban részletezett módszer szerint. A módszer további előnye, hogy a mért EC a gyökér méretén túl annak aktivitásától is függ, így a gyökérzet aktuális működési állapotát reprezentálja. A rendszer hátránya, hogy a talaj nedvességtartalma és a növényelektrod helyzete jelentős hatással van az eredményre. A mérést június 28-án végeztük.

Gyökérnyaki átmérő: ezen tulajdonság a gyökérkapacitással kapcsolatban áll, ezért együtt érdemes őket kezelni. A talaj felszínén a legvastagabb átmérő pozíciójába fordított

digitális tolómérőn jelzett értékeket jegyeztük fel. A mérést szintén június 28-án végeztük.

Biomassza (felszín feletti): a biomassza mérés a növényi tömeg közvetlen meghatározása. A biomassza egy időpontban vett biológiai anyagnak, jelen esetben a növényzetnek a tömege, melyet a növények terminálása után (07.30.) határoztunk meg. A levágott növényzetet száraz papírzacskóba tettük. A mintákat feliratoztuk és a friss tömegüket azonnal, mérlegemmel lemértük és ráirtuk a zacskókra. A mintákat szárítószekrénybe helyeztük és 48 órán át 85 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. Ezután ismét lemértük a tömegüket és a kettő különbsége szolgáltatja a biomassza tömegét.

Gyökértömeg: a biomassza meghatározással azonos módon, de a föld alatti részek (gyökérzet) felhasználásával történt.

Labilis széntartalom: az aktív szén (permanganát oxidálható szén=POXC) mérése a talajok mikrobiális aktivitásának a kimutatására használt módszer, melynek célja a növények és a mikroorganizmusok számára is elérhető széntartalom meghatározása. A labilis szén mérése légszáraz talajon történt Weil és munkatársai (2003) módszere alapján. A tenyészedények közepéből, a gyökérzet közeléből talajmintát vettünk, majd abból 1 g talajhoz 10 ml KMnO_4 (0,02M) oldószert adtunk és a szuszpenziót 5 percre rázószekrénybe helyeztük. Ezt követően hígítottuk az oldatot, 200 μl oldathoz 10 ml desztillált vizet adtunk. A hígított oldatot 3000-es fordulaton 5 percig centrifugáltuk. Az ülepités után mértük a minták abszorpcióját 550 nm-en. Az aktív széntartalom arányos az oxidálószer fogyásával, így a kálium-permanganát lila színének halványulásával, ami kisebb mértékű fényabszorpciót eredményez. Az eredmények számszerűsítése Blair és munkatársai (1995) módszere alapján történt, mely szerint 1 mol MnO_4 elfogyását 0,75 mol (9000 mg) C oxidálása eredményezi. A labilis szén-tartalmat június 23-án vett mintákból vizsgáltuk.

Dehidrogenáz (DHA) enzimaktivitás: a talajok teljes mikrobiális aktivitásának, azok esetleges szennyezettségének (pesticidek, nehézfémek stb.) és mértékének a megállapítására általánosan használt módszer. A méréshez használt talajt az előző vizsgálathoz használt mintákkal együtt vettük. A dehidrogenáz aktivitását a 2,3,5-trifenil-tetrazolium-kloridból (TTC) képződő 1,2,5-trifenil-formazán (TPF) mennyiségével jellemeztük (Casida et al., 1964), melynek során 1 g nedves talajt kémcsőbe mértünk, majd 1 ml TTC-t adtunk hozzá és vortexeltük. A kémcsöveket ezután lezártuk és 24 órán át 30°C-on inkubáltuk. Kontrollként csak 1 ml Tris-puffert adtunk a talajhoz. Az inkubációs idő letelte után minden kémcsőhöz 4 ml metanolt adtunk és alaposan összeráztuk, majd még további 2 órán át inkubáltuk. Ezután a talaj szuszpenziót 10 percig 2500 rpm-en centrifugáltuk és a tiszta felülúszót blankkel szemben 546 nm-en mértük. Tenyészedényenként 3x1 g talajt mértünk ki, ami két párhuzamos mintát (A, B)

és egy kontrollt (0) eredményezett. A kontroll a talajminta eredeti színének számszerűsítését szolgálta. A szükséges oldatok és elkészítésük: 0,1 M Tris-puffer készítéséhez 3,0285 g Tris oldottunk fel 250 ml desztillált vízben, és a pH-t HCl-dal 7,6-os értékre állítottuk. Az 1,5%-os TTC oldathoz 2,25 g TTC-t oldottunk fel 150 ml Tris-pufferban. A TPF standard oldathoz ($500 \mu\text{g TPF ml}^{-1}$) 25 mg TPF-et oldottunk 50 ml etanolban. A kalibrációs görbéhez 0, 0,5, 1, 2, 3, 4 ml TPF standard oldatot 50 ml-es mérőlombikokba pipettáztunk és hozzáadtunk 8,3 ml Tris-puffert, majd etanollal 5 ml-re egészítettük ki. Így 0, 5, 10, 20, 30, 40 $\mu\text{g TPF ml}^{-1}$ koncentrációjú kalibrációs pontokat kaptunk. A számoláshoz a kontrollal korrigált TPF ($\mu\text{g/ml}$) koncentrációt leolvastuk a kalibrációs görbéről és a következő formulát alkalmaztuk: $\text{DHA (TPF } \mu\text{g/sz\acute{a}raz talaj g)} = \text{TPF } (\mu\text{g/ml}) * \text{V/dwt} * \text{m}$, ahol $\text{dwt}=1 \text{ g}$ nedves talaj száraz tömege, $\text{m}=\text{a}$ kimért nedves talaj tömege, $\text{V}=\text{a}$ vizsgálat során a talajhoz adott oldat térfogata (6 ml) volt.

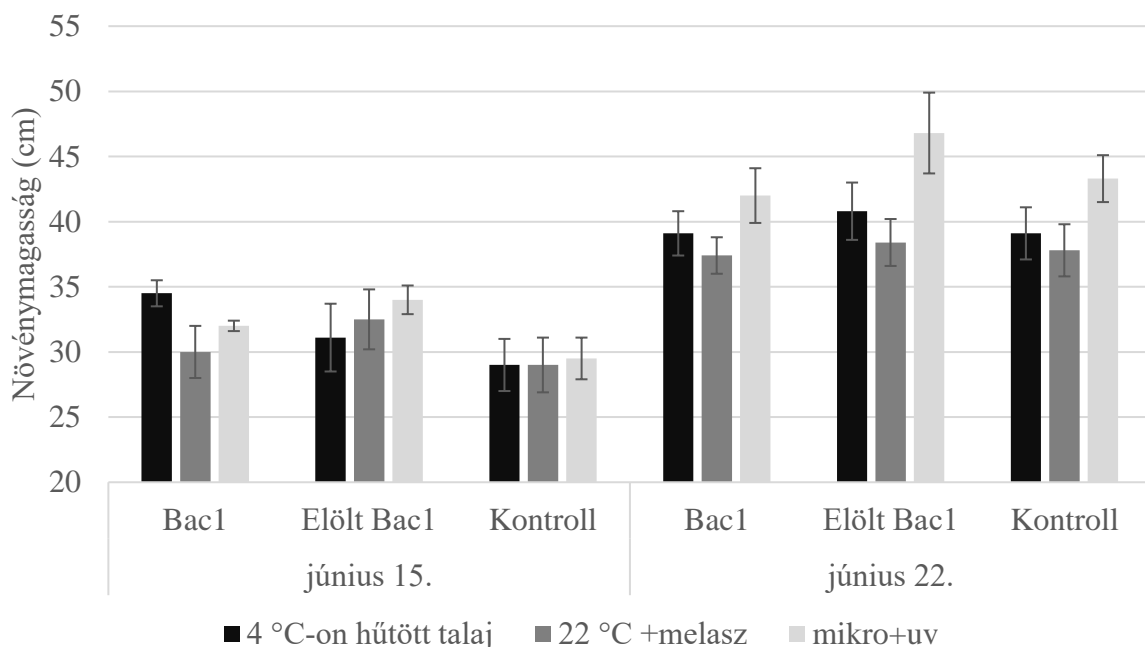
4.6. ADATOK ÉRTÉKELÉSE

A statisztikai elemzéseket IBM SPSS Statistics 27 és Excel 2016 szoftverrel végeztük. Az értékmérő tulajdonságokat jellemző változókra a feltételek teljesülése esetén varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk. A hibatagok normális eloszlására a Kolmogorov-Smirnov tesztet, a változók homogentására Levene próbát használtunk. A páronkénti összehasonlítást a Tukey-féle HSD-teszttel hajtottuk végre. Ahol az ANOVA feltételei nem teljesültek Kruskal-Wallis tesztet végeztünk. A Spearman féle rangkorrelációt használtuk a változók közötti összefüggések vizsgálatára. Az eredményeket $p < 0,05$ esetén tekintettük szignifikánsnak.

5. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

5.1. A NÖVÉNYI PRODUKTUMOT FELMÉRŐ TULAJDONSÁGOK

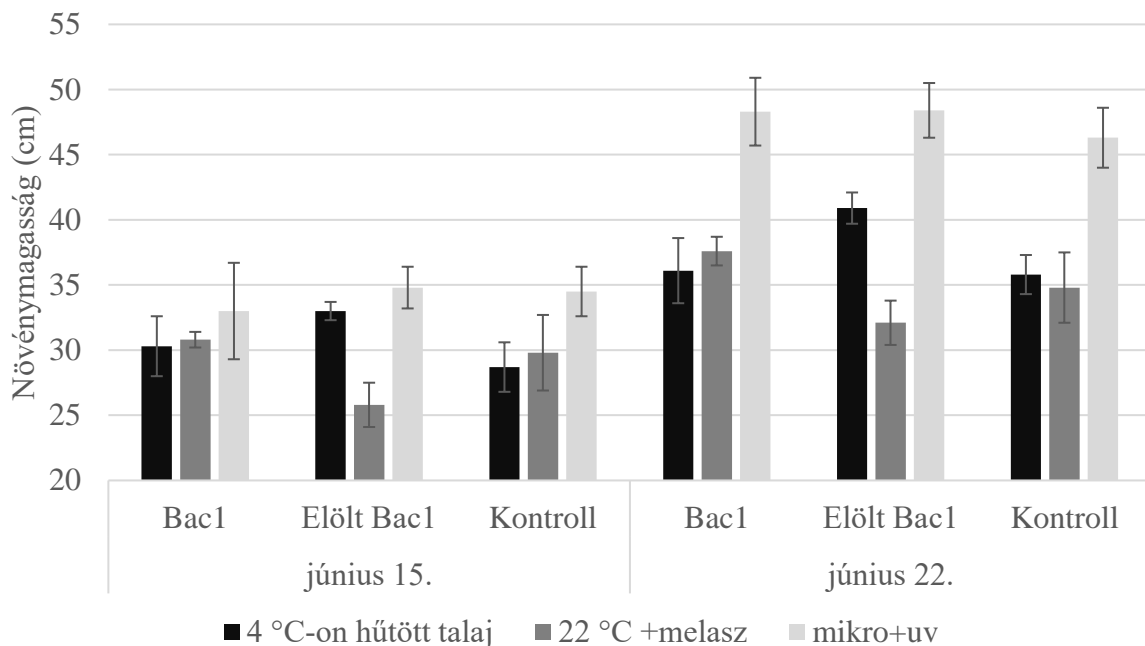
A kísérletünk időtartama alatt két alkalommal mértük le a fejlődő növények magasságát (2. és 3. ábrák). A BET esetében az első mintavétel idején nem találtunk különbséget a talajkezelések között $H = 0,56$, $df = 2$, $p = 0,755$, de a talajoltás különbséget eredményezett $H = 6,22$, $df = 2$, $p = 0,004$. A kontroll kezelés ugyanis alacsonyabb növénymagassággal járt. A második időpontban statisztikai különbséget találtunk a talajkezelések között $H = 11,00$, $df = 2$, $p = 0,045$. A mikrohullámmal, majd UV sugárzással kezelt talaj pozitívan hatott a növények magasságára, míg az oltóanyagok hatásában nem volt különbség $H = 0,72$, $df = 2$, $p = 0,698$ (2. ábra).



2. ábra: A növénymagasság (átlag±SE) alakulása két időpontban a barna erdőtalajon.

A RÉTI talaj esetében mindkét időpontban szignifikáns különbséget véltünk felfedezni a talajkezelések között $H = 9,29$, $df = 2$, $p = 0,010$, $H = 23,07$, $df = 2$, $p < 0,001$. A mikrohullámmal, majd UV sugárzással kezelt talaj szignifikánsan magasabb növényeket eredményezett, mint a 22 °C-on tartott, majd melasszal kezelt talaj, de a 4 °C-on hűtött talajtól statisztikailag nem mutatott eltérést az első mérés időpontjában. A második mérés idején mind a 4 °C-on, mind a 22 °C-on tartott és melasszal kezelt talajtól jelentősen magasabbak voltak a növények a mikrohullámmal, majd UV sugárzással kezelt talajon (3. ábra). Ugyanakkor az oltóanyagot illető különböző kezelések egyik alkalommal sem mutattak eltérést $H = 0,24$,

$df = 2, p = 0,988, H = ,279, df = 2, p = 0,870.$



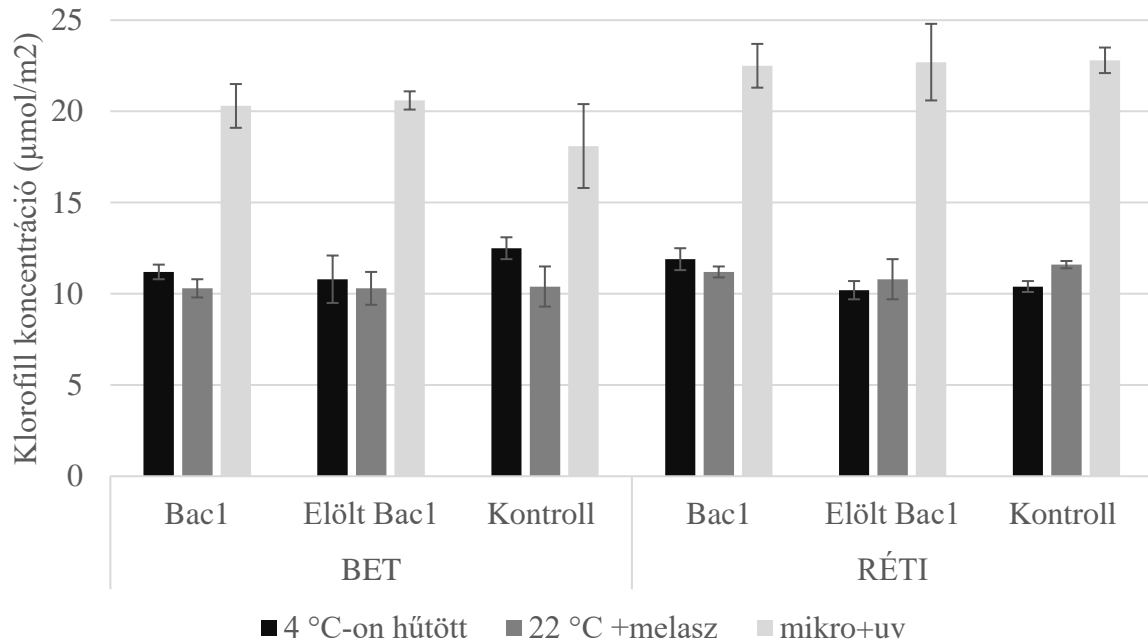
3. ábra: Az növénymagasság (átlag±SE) alakulása két időpontban a réti talajon.

A BET-on növekvő kukorica növények levélzetének klorofill koncentrációját megvizsgálva a talajkezelések szignifikáns különbséget eredményeztek $H = 23,98, df = 2, p < 0,001$. A klorofill tartalom a mikrohullámmal, majd UV sugárzással kezelt talajon magasabb volt, mint a 4 °C-on hűtött vagy a 22 °C-on tartott és melasszal kezelt talaj esetén. Ez utóbbi kettő azonban nem különbözött egymástól. A talajoltás ugyanakkor nem okozott a klorofill tartalomban eltérést $H = 0,424, df = 2, p = 0,809$ (4. ábra).

A RÉTI talajon ugyanezen logikai sorrendben haladva, a talajkezelések hasonló módon a BET-on tapasztaltakkal, szintén szignifikáns különbséget eredményeztek $H = 23,91, df = 2, p < 0,001$, míg a különböző talajoltás nem mutatott hatást $H = 0,95, df = 2, p = 0,622$ (4. ábra).

A magasabb klorofill koncentrációból Padilla és munkatársai (2018) elemzése alapján a levelek magasabb nitrogén koncentrációjára következtethetünk. Ezt a mikrohullámú, majd UV sugárzással kezelt mindkét talajtípus esetében láthattuk. Valószínűsíthető, hogy az ezen sterilizálási módszerek során bizonyos mértékű tápanyag feltáródás mehetett végbe, ahogyan azt Razavi és Lakzian (2007) is megfigyelték a nitrogén esetében. Khan és munkatársai (2019) pedig azt jelentették, hogy a mikrohullámú kezelés javította a terméshozamot és a nitrogén felhalmozódását a növényi biomasszában. Ez lehet a magyarázata a növények magasságában tapasztalt különbségeknek is (2. és 3. ábrák), melyet a két növényi produktumot jellemző

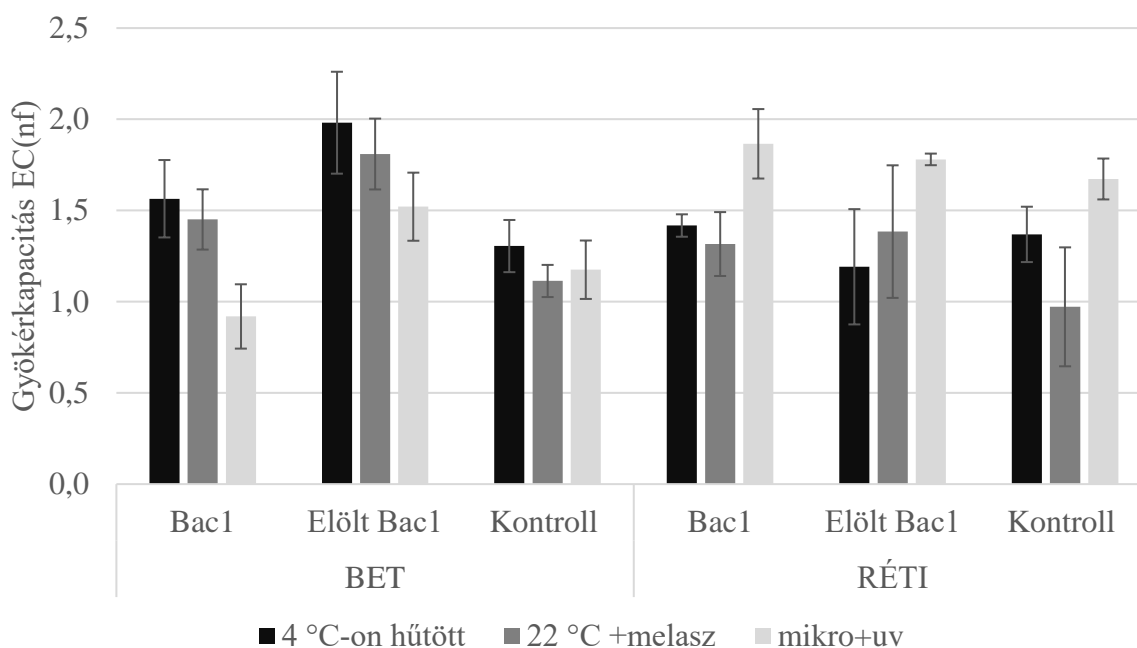
tulajdonság közötti pozitív interakciók is mutattak. A BET-on ugyan csak az egyik időpontban mért magassági értékekkel $r_s = 0,607, p < 0,001$, de a RÉTI talajon mindkét időpontban mért magassággal pozitív korrelációt mutatott a klorofill tartalom $r_s = 0,426, p = 0,01$, $r_s = 0,635, p < 0,001$.



4. ábra: A klorofill koncentráció (átlag±SE) alakulása június 15-én.

A BET-on növekvő kukoricánövények gyökérkapacitás értékeiben a talajkezelés nem eredményezett különbséget $F(2; 27) = 2,85, p = 0,075$, ellentétben a talajoltással, ahol az előlt oltóanyaggal kezelt növények valamivel magasabb értékeket mutattak $F(2; 27) = 7,62, p = 0,002$, míg a Bac1 oltóanyaggal kezelt nem tért el a kontrollon mért értékektől (5. ábra).

A RÉTI talajokon mért gyökérkapacitás értékekben tapasztalt különbségek ennek pont az ellenkezőjeképpen alakultak. Míg kombinált mikrohullámú és UV kezelésben részesített talajon növekvő növények gyökérkapacitása (a legmagasabb értékekkel) szignifikáns eltérést mutatott $F(2; 27) = 4,98, p = 0,014$ a 4 °C-on hűtött talajon növekedőktől (a legalacsonyabb értékekkel), addig a 22 °C-on tartott, majd melasszal kezelt köztes értékeket vettek fel. Az oltóanyag használata azonban nem mutatott különbséget a gyökérkapacitást illetően $F(2; 27) = 0,41, p = 0,666$ (5. ábra).

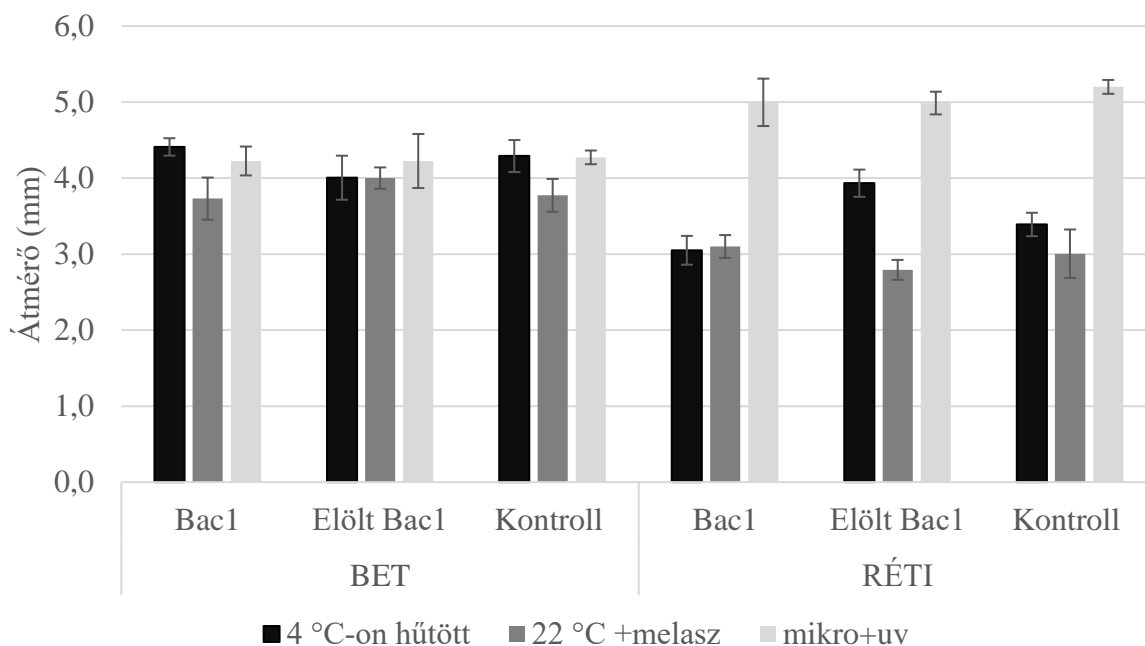


5. ábra: A gyökérkapacitás (átlag±SE) június 28-án felmérve.

A gyökérkapacitáshoz általában szorosan kapcsolódó növényi tulajdonság a gyökérnyaki átmérő. A gyökérnyaki átmérő alakulását a 6. ábra szemlélteti. Ezen tulajdonság átlagértékei sem a talajkezelésekre, sem a talajoltásra nem mutattak statisztikai eltérést a BET-on $F(2; 27) = 3,22$, $p = 0,056$, $F(2; 27) = 0,33$, $p = 0,967$, bár hozzátehetjük, hogy a 22 °C-on tartott és melasszal kezelt talaj, valamivel kisebb értékeket látszatott.

A RÉTI talajon az oltóanyag nem $F(2; 27) = 0,74$, $p = 0,487$, de a talajkezelés mindhárom csoportban különböző gyökérnyaki átmérővel párosult $F(2; 27) = 89,88$, $p < 0,001$. A legvastagabb gyökérnyakkal a mikrohullámmal, majd UV sugárzással, a legvékonyabbal a 22 °C-on, majd melasszal kezelt talajon élő növények rendelkeztek. A 4 °C-on hűtött talajokon növekvő növények gyökérnyaki átmérője e két csoport közötti értéket vett fel (6. ábra).

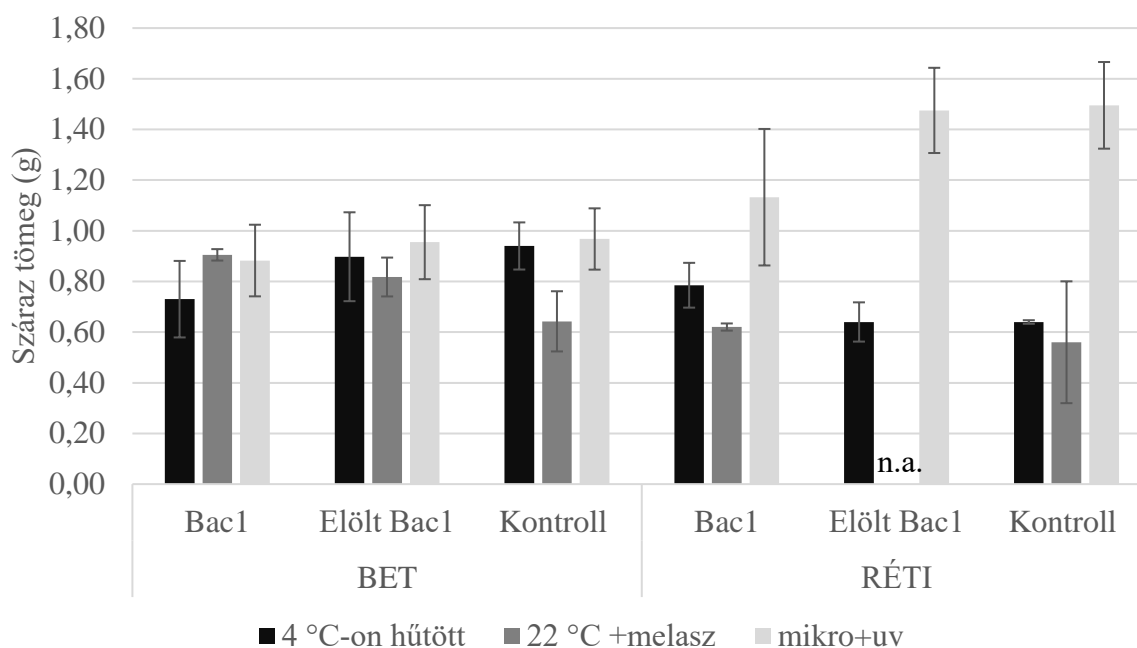
A gyökérnyaki átmérő, mint említettük, a gyökérkapacitással általában együtt változó értékszám. Esetünkben a BET-on sajnos ezt nem tudtuk igazolni, de a RÉTI talajon pozitív interakciót figyeltünk meg e két változó között $r_s = 0,446$, $p = 0,006$.



6. ábra: A gyökérnyaki átmérő (átlag±SE) június 28-án felmérve.

A biomassza tömege a növényi produktum legkézzelfoghatóbb értékszámja. A BET-on sem a különböző talajkezelés $H = 2,53$, $df = 2$, $p = 0,282$, sem az eltérő talajoltási gyakorlat nem mutatott különbséget $H = 0,038$, $df = 2$, $p = 0,981$ (7. ábra).

A RÉTI talajon a talajkezelés milyensége eltérő nagyságú biomasszatömeget eredményezett $H = 12,12$, $df = 2$, $p = 0,002$, a legmagasabb értékeket a mikrohullámú, majd UV sugárzásnak kitett talaj eredményezte, míg a másik kettő kezelés hasonlóan alacsonyabbnak mutatkozott. A talajoltás ugyancsak nem eredményezett különbséget $H = 0,315$, $df = 2$, $p = 0,854$ (7. ábra).

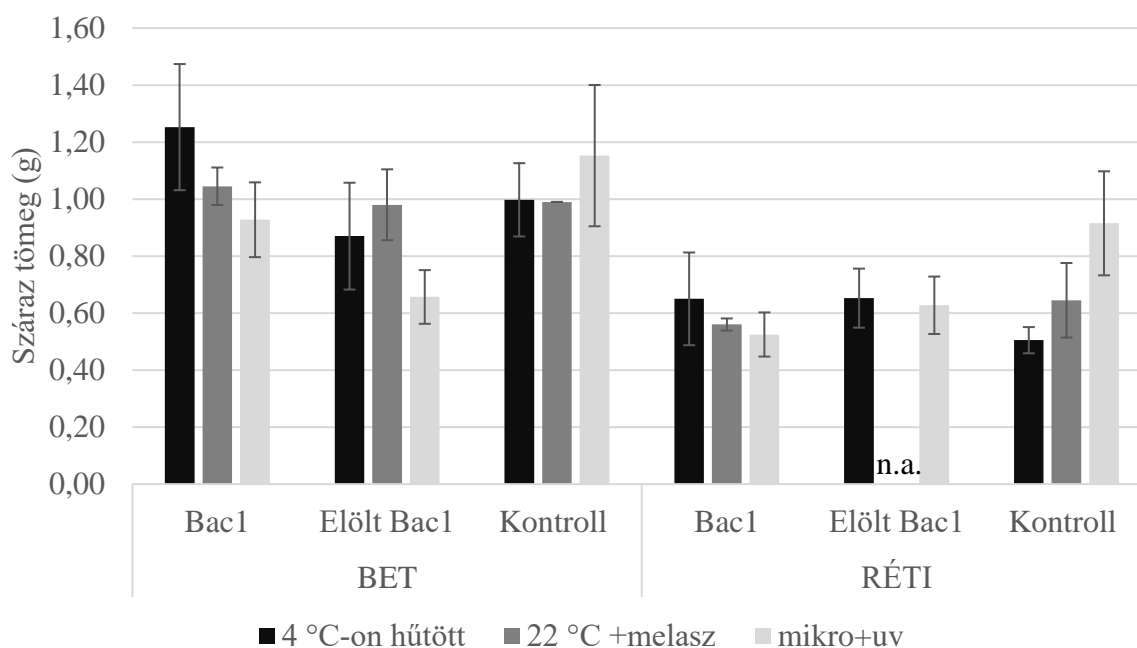


7. ábra: A biomassza szárász tömege (átlag±SE). n.a.=nincs adat

A gyökértömeg a biomassza tömeggel ellentétben, a növény talaj alatti részeinek produktumát hivatott jellemezni. A BET-on sem a különböző talajkezelés $F(2; 22) = 0,44$, $p = 0,650$, sem az eltérő talajoltási gyakorlat nem mutatott különbséget $F(2; 22) = 1,56$, $p = 0,233$ (8. ábra).

A RÉTI talajon a gyökértömeget illetően ugyanezt a jelenséget láttuk $F(2; 16) = 0,401$, $p = 0,676$, $F(2; 16) = 0,387$, $p = 0,685$ (8. ábra).

Az azonban látható, hogy a RÉTI talajon általánosságban kisebb gyökértömeg jellemezte a növényeket és a mikrohullámú, majd UV sugárzással kezelt talajon tapasztalt megnövekedett biomassza tömeg ellenére sem volt nagy különbség a gyökértömeget illetően a kezelések között.



8. ábra: A száraz gyökértömeg (átlag±SE). n.a.=nincs adat

A mikrohullámú talajkezelésről már Khan és mtsai. (2019) is hasonló következtetéseket vontak le. Kísérleteik során kimutatták, hogy elősegíti a növények növekedését és fokozza a terméshozamot, mind a kultúr- és gyomnövények közötti kompetíció csökkentésével, mind a terméskorlátozó tápanyagok rendelkezésre állásának megváltoztatásával. A jelenség mögötti pontos mechanizmus azonban még mindig ismeretlen. Az egyik magyarázat az, hogy az átmeneti hő segíti a szerves nitrogén (N) mineralizációját ammóniává (NH_3), ami ezután nitrifikáción keresztül nitráttá (NO_3^-) alakul, ami természetesen a termésnövekedés és a növényi fejlődés hasznára válhat. A talaj sterilizálása mellett, a mikrohullámú talajkezelésre adott tápanyagfelvételi és -felhalmozódási mintázat ugyan nem ismert, de kulcsfontosságú lehet a technológia előnyeinek megítélésében a mezőgazdasági felhasználásra vonatkozóan.

A BET-on növekvő kukoricákon megvizsgált tulajdonságok között számos esetben szignifikáns korrelációkat találtunk. Pozitív kapcsolat állt fenn, a június 22-én mért növénymagasság, az átlagos klorofill tartalom, a gyökérnyaki átmérő és a biomassza tömeg között (1. melléklet).

A RÉTI talajokon is hasonló kapcsolatokat láthattunk, azzal a különbséggel, hogy a növénymagasság, az átlagos klorofill tartalom, a gyökérnyaki átmérő és a biomassza tömeg minden esetben korrelációt mutatott mindegyik tulajdonsággal (2. melléklet). Érdekes módon a gyökérnyaki átmérő és a gyökérkapacitás, melyek összetartozó tulajdonságnak gondoltak a BET-on nem mutattak interakciót, de a biomassza tömeg és a gyökérnyaki átmérő mindkét

talajon pozitív kapcsolatot jeleztek. Ezen megfigyelés adódhatott azonban a gyökérkapacitás felmérésekor tapasztalt nehézségekből, ugyanis a használt készülék véleményünk szerint a fiatal növényeken csak feltételesen használható, ugyanis a szár átmérője és szilárdsága bizonyos értékek alatt nem teszi lehetővé a pontos mérést. Emellett ez a féle mérés nem invazív módszerként ismert, azonban a nagyon fiatal növényekben kárt tehet. Ennek a hatását láthattuk a biomassza- és gyökértömeg grafikonjainak hiányzó oszlopain is (7. és 8. ábrák).

A tenyészedények locsolása ugyan mindig hasonló időben, hasonló adagokkal történt, de talajnedvesség eltéréséből adódó lehetséges következmények kivédését megelőzve, a talaj nedvességtartalmát is ellenőriztük a kísérlet félidejénél. Az átlagtól való maximális eltérés maximum 10% volt. Hogy ez az eltérés hatást gyakorolt-e a többi változóra, azt az értékmérő változók és a talaj nedvességtartalmának Spearman-féle rangkorrelációjával megvizsgáltuk (1. és 2. melléklet), de nem találtunk szignifikáns eltérést, tehát a nedvességtartalomban tapasztalt kismértékű elérés nem volt felelős a többi változó értékeiben kialakult különbségekért.

5.2. A TALAJÁLLAPOTOT KÖZVETLENÜL JELLEMZŐ PARAMÉTEREK

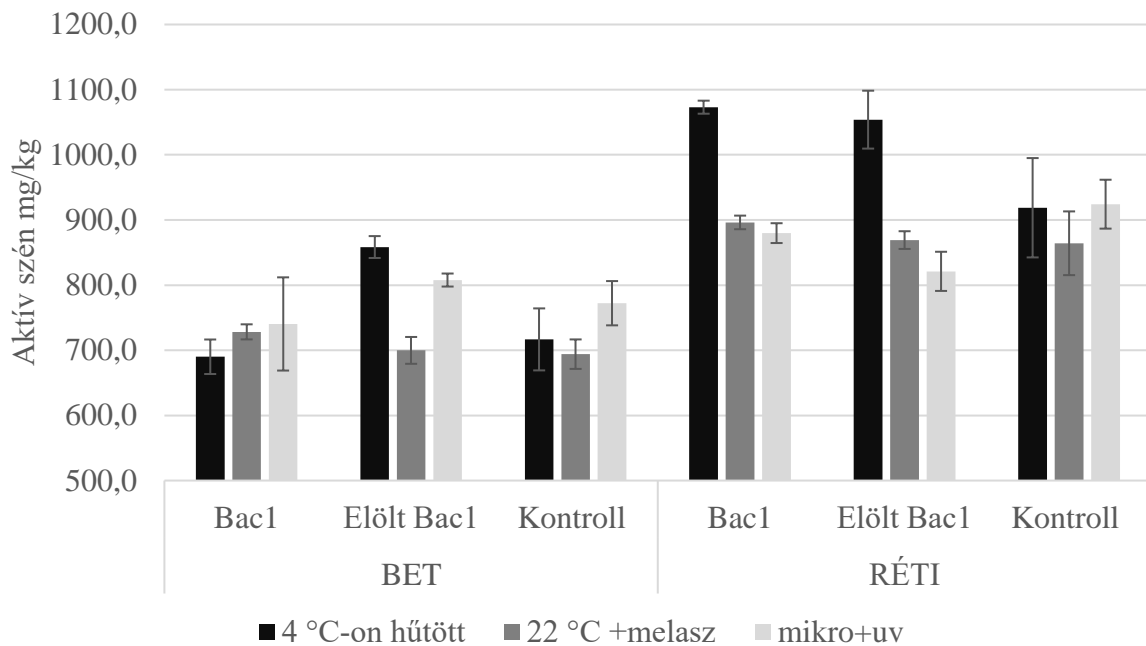
A talajminőség diagnosztizálásának szokásos módszere az olyan mikrobiális indikátorok használata, amelyek nagyon érzékenyek és gyorsan képesek reagálni a környezeti változásokra. A labilis széntartalom meghatározása a talajbiológiai vizsgálatok egyik ilyen használt módszere. Esetünkben a mikrobiológiai oltás, illetve a talajkezelések hatásának kimutatására használtuk (9. ábra).

A labilis szén-tartalom a BET-on sem a különböző kezelések $H = 3,73$, $df = 2$, $p = 0,155$, sem a biológiai talajoltás hatására $H = 5,70$, $df = 2$, $p = 0,058$ nem mutattak szignifikáns különbséget.

A RÉTI talajon a 4 °C-on hűtött talaj szignifikánsan nagyobb labilis szén értékeket mutatott $H = 13,70$, $df = 2$, $p = 0,001$, mint a másik két kezelés, amelyek egymástól nem különböztek. A biológiai talajoltás hatása RÉTI talajon sem mutatott különbséget ezen tulajdonságra $H = 1,17$, $df = 2$, $p = 0,557$.

Az alkalmazott talajoltás hatását a labilis széntartalom értékeiben egyik talajon sem tudtuk kimutatni, de a talajállapot megváltozását a 4°C-ra hűtött és tárolt RÉTI talaj esetében úgy tűnik jelezni tudta ezen módszer. A 9. ábrán azt is láthatjuk, hogy a két talajtípus közötti eltérő labilis széntartalom értékek jól tükrözik a talajtípusok közötti különbségeket, mely az

eltérő kémhatásból és szervesanyag tartalomból következő eltérő biológiai aktivitásból adódhatott.



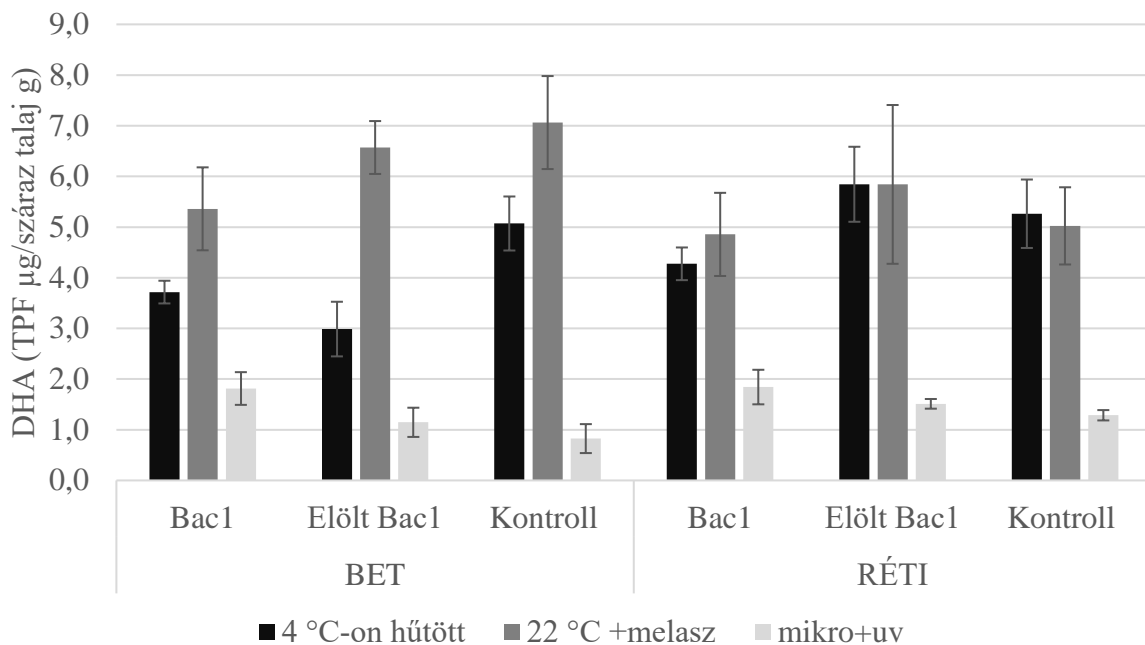
9. ábra: A labilis széntartalom (POXC) (átlag±SE) értékei.

A talajbiológiai indikátorok közül a DHA az egyik legmegfelelőbb és legérzékenyebb bioindikátor, amely a talaj minőségével és termékenységével kapcsolatos tulajdonságok változásának követésére alkalmas. A DHA értékek a BET-on a talajkezelések hatására eltérőek voltak $H = 27,94$, $df = 2$, $p < 0,001$. A legmagasabb értékekkel a 22 °C-on tartott és melasszal kezelt, míg a legalacsonyabb értékkel a mikrohullámmal, majd UV-sugárzással kezelt talaj rendelkezett. A 4 °C-on hűtött talaj közepes értékekkel bírt. A talajoltásnak, ha az összes talajkezelést figyelembe vesszük nem volt különbséget eredményező hatása $H = 0,42$, $df = 2$, $p = 0,811$.

A RÉTI talajok DHA értékei a különböző talajkezelések következtében ugyancsak különbözőnek adódtak $H = 22,41$, $df = 2$, $p < 0,001$. Itt ugyancsak a mikrohullámú, majd UV sugárzással kezelt talajok DHA tartalma volt a legalacsonyabb, míg a másik két csoport értékei hasonlóak voltak. Az talajoltásnak itt sem volt eltérő hatása $H = 0,61$, $df = 2$, $p = 0,738$ a talajkezelések mindegyikét figyelembe véve.

Azonban, ha a mikrohullámú, majd UV sugárzással kezelt talajokon nézzük meg, hogy a talajoltásnak milyen hatása volt, akkor azt láthatjuk, hogy a csökkent enzimaktivitású talajban jobban működött vagy legalábbis képes volt megnyilvánulni az oltóanyag, mindkét talajon egyaránt $F(2; 18) = 4,478$, $p = 0,026$ (10. ábra). A legnagyobb aktivitást a Bac1 oltóanyag

esetén láthatjuk, a legkisebbet pedig a kontroll esetén, mely két csoport szignifikáns különbséget mutatott. Az előlt Bac1 kultúrával oltott talajok DHA aktivitása ugyanakkor köztes értékeket vett fel, de egyik csoporttól sem különbözött statisztikailag. A mikrohullámú, majd UV sugárzással kezelt talajokon megfigyelt oltóanyag hatást a sterilizálás hatására lecsökkent eredeti baktériumtörzsek és az oltóanyaggal kijuttatott törzsek közötti kompetíció csökkenésével magyarázható.



10. ábra: A DHA (átlag±SE) értékei a különböző kezelésben részesített talajokban.

A DHA aktivitást illetően, a 22°C-on tárolt és melasszal kezelt talaj felülmúlta a másik két kezelést, melyek közül a legalacsonyabb DHA-t éppen a sterilizált talajok mutatták. Mivel a DHA szorosan kapcsolódik az élő mikrobiális sejtekhez, az aktivitása ugyanazon környezeti tényezőktől függ, amelyek befolyásolják a mikroorganizmusok szaporodását, aktivitását és életfolyamataikat. Következésképpen, amikor a talaj DHA-t vizsgáljuk, figyelembe kell venni azon talajtényezőket és környezeti feltételeket is, amelyek ezt befolyásolják (Wolińska és Stepińska, 2012). Ezzel magyarázhatjuk, hogy mindkét talaj esetében a valamilyen mértékben sterilizált (mikrohullám+UV) csoport, minden esetben jelentősen alacsonyabb DHA szintet eredményezett (10. ábra).

A 22 °C-on tárolt, majd melasszal kezelt talaj magasabb DHA aktivitása valószínűleg a melasz által biztosított cukorforrásnak tulajdonítható, mely által a baktériumok jobban fel tudtak szaporodni. Ez utóbbi hasonló a Nugroho és munkatársai (2023) által tapasztaltakkal, amikor a DHA aktivitásának növekedését tapasztalták a melaszos kezelést követően.

A növényi fejlettséget és a talajállapotot jellemző egyik vizsgált tulajdonság, a labilis széntartalom között nem találtunk interakciót egyik talajon sem. A DHA ugyanakkor negatívan korrelált a növénymagassággal $r_s = -0,507, p = 0,002$, az átlagos klorofill tartalommal $r_s = -0,678, p < 0,001$, a biomassza tömeggel $r_s = -0,379, p = 0,023$, illetve a labilis széntartalommal $r_s = -0,337, p = 0,044$ a BET esetén.

A RÉTI talajon a DHA ugyancsak negatív kapcsolatban állt a növénymagassággal $r_s = -0,353, p = 0,034$ és $r_s = -0,503, p = 0,002$, az átlagos klorofill tartalommal $r_s = -0,689, p < 0,001$, a biomassza tömeggel $r_s = -0,653, p = 0,001$, valamint a gyökérkapacitással $r_s = -0,392, p = 0,018$ és a gyökérszárnyaki átmérővel $r_s = -0,548, p = 0,001$.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A mikrobiális oltóanyagok alkalmazásának legfőbb célja a növény-mikroba kölcsönhatások különböző hatásmechanizmusainak hasznosítása a mezőgazdasági termesztésben. A vizsgálatainkban alkalmazott talajoltásnak megfigyelésünk szerint nem volt szignifikáns hatása sem a növényi produktumra, sem a talajállapotot jellemző tulajdonságokra. Azonban a sterilizálás következtében csökkent mikrobiológiai aktivitású talajokban hatásuk érzékelhető volt, mely további kísérletek beállítását indokolja, a baktérium oltóanyagok eredményes felhasználásának támogatása érdekében. Véleményünk szerint a talaj eredeti mikroba közössége és a kijuttatott törzsek között kompetíció alakulhat ki, mely ronthatja a felhasználás hatékonyságát. Ezzel szemben a sterilizálással csökkentett számú eredeti mikrobák esetén az említett kompetíció kisebb lehetett.

Következtetéseink szerint, az oltásnál nagyobb befolyásoló tényezővel bírt a talaj vetés előtti kezelése, amely a legtöbb figyelemmel kísért mutatóban változást okozott. Első szándékra ugyan a különbözően kezelt talajokkal azok talajoltásra való alkalmasságát szerettük volna reprezentálni, de az oltás kevésbé jelentős hatásának következtében erre nem tudunk következtetni. Ugyanakkor a kezelések következtében megváltozott talajállapot hatásait jól tükrözték a méréseink.

Ha megnézzük a talaj biológiai állapotát jellemezni hivatott tulajdonságokat (labilis széntartalom, DHA), az látható, hogy a mikrohullámú talajkezelés nem sterilizálta a talajt teljes mértékben, de hatása nem elhanyagolható mértékű a talajéletre, a biológiai aktivitásra. Ugyanakkor, ha a növényi produktummal összefüggő tulajdonságokat (magasság, klorofill tartalom, biomassza, gyökértömeg, gyökérkapacitás és gyökérszárnyaki átmérő) is megnézzük ugyanezen a kezeléson, láthatjuk, hogy Zagal (1988) vizsgálataival ellentétben, aki a talaj tápanyag viszonyaiban nem tapasztalt jelentős változást, esetünkben mindkét talajon több tápanyagot tett könnyebben elérhetővé a növények gyorsabb növekedéséhez. Vizsgálataink eredményei Ferriss (1984) megfigyeléseivel mondható hasonlóknak, akinél bizonyos mértékű sterilizálás mellett nem elenyésző mértékű tápanyagfeltáródás, különösen a nitrogén elemet illetően volt tapasztalható (Speir et al., 1986). Ebből a szempontból a mikrohullámú talajkezelés akár fontos vetés előtti talajkezelési technológiává is válhat a nagy értékű növénytermesztési rendszerek számára.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A Kárpát-medence, s benne Magyarország viszonylag kedvező agroökológiai adottságokkal rendelkezik, de egyre gyakrabban fordulnak elő szélsőséges helyzetek. Ezen kedvezőtlen időjárási anomáliák okozta káros hatásokat, csak tovább rontja az elmúlt években tapasztalt inputanyag árak ugrásszerű növekedése. Mind az időjárási állapotok okozta kedvezőtlen talajállapot, mind az inputanyag árak emelkedésére válasz lehet a mikrobiológiai oltóanyagok, illetve az olyan talajkezelési módszerek, melyek a növényi növekedést hivatottak támogatni.

A szakdolgozatban a talajéletet jellemző és a növényi fejlettséget leíró tulajdonságokon keresztül vizsgáltuk a talajoltás hatékonyságát a különbözően kezelt talajokon, illetve a talajkezelések hatásait a növénykultúrára.

Vizsgálatainkban egy *Bacillus simplex*, *Pseudomonas frederiksbergensis*, *Agreia pratensis*, *Paenibacillus peoriae*, *Exiguobacterium acetylicum*, *Azospirillum largimobile*, *Azospirillum brasilense* fajokat tartalmazó, savanyú talajokra ajánlott terméket, annak elölt kultúrájával, valamint kontrollként vizet alkalmazva hasonlítottuk össze. Az összevetést két féle talajon, egy barna erdőtalajon és egy réti talajon alkalmaztuk. A talajokat a vetés előtt háromféle kezelésben részesítettük: i) 4°C-on hűtött, ii) 22°C-on tárolt és melasszal kezelt, iii) mikrohullámú és UV sugárzással kezelt.

Eredményeinkben az oltóanyag hatásait csak kisebb mértékben véltük felfedezni, de a talajkezelések növényi produktumra való hatását sikerült kimutatni, elsősorban a sterilizálás által felvehetővé tett tápanyagok növényi növekedésre való hatásával. A sterilizálás a DHA enzimaktivitás lecsökkenésével szintén együtt járt ugyanezen kezeléseknél, míg a 22°C-on tárolt és négy alkalommal melasszal kezelt tenyészedényekből származó DHA értékek növekedést mutattak.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani elsősorban konzulenseimnek, Dr. Kotroczó Zsoltnak és Prettl Nándornak, akik végig követték diplomamunkám készítését, fontos tanácsokkal és szakmai segítséggel támogattak, valamint lehetőséget biztosítottak és hozzájárultak a vizsgálatok gyakorlati megvalósításához.

Köszönettel tartozom továbbá Dr. Juhos Katalinnak és Dr. Biró Borbálának, akik a kísérlet megtervezésében járultak hozzá szakdolgozatom elkészítéséhez.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- Bartholy, J., Pongr_acz, R., & Gelyb_o, G. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071–2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5, 1-17.
- Ben-Asher, J., Garcia y Garcia, A., és Hoogenboom, G. (2008): Effect of high temperature on photosynthesis and transpiration of sweet corn (*Zea mays* L. var. *rugosa*). *Photosynthetica*, 46, 595-603. DOI: [10.1007/s11099-008-0100-2](https://doi.org/10.1007/s11099-008-0100-2)
- Biró, B., Köves-Péchy, K., Vörös, I., Takács, T., Eggenberg, P. és Strasser, R. J. (2000): Interrelations between Azospirillum and Rhizobium nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. *Applied Soil Ecology*, 15(2), 159-168. DOI: [10.1016/S0929-1393\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00092-5)
- Blair, G. J.; Lefroy, R. D. B. és Lise, L. (1995): Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian journal of agricultural research*, 46(7), 1459-1466. DOI: [10.1071/AR9951459](https://doi.org/10.1071/AR9951459)
- Brodie, G., Khan, M. J., és Gupta, D. (2019): Microwave soil treatment and plant growth. *Sustainable crop production*, pp. 179-196.
- Buzás I. és Fekete A. (1979): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- Casida, L. E. JR., Klein, D. A. és Santoro, T. (1964): Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 98, 371-376.
- Cooper, A. és Brodie, G. (2009): The effect of microwave radiation and soil depth on soil pH, N, P, K, SO₄ and bacterial colonies. *Plant Protection Quarterly*, 24(2), 67-70.
- Cseresnyés, I., Szitár, K., Rajkai, K., Füzy, A., Mikó, P., Kovács, R., és Takács, T. (2018): Application of electrical capacitance method for prediction of plant root mass and activity in field-grown crops. *Frontiers in Plant Science*, 9, 93. DOI: [10.3389/fpls.2018.00093](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00093)
- Dudás, A., Szalai, Z. M., Vidéki, E., Wass-Matics, H., Kocsis, T., Végvári, Gy., Kotroczó, Zs. és Biró, B. (2017): Sporeforming bacillus bioeffectors for healthier fruit quality of tomato in pots and field. *Applied Ecology and Environmental Research* 15(4),1399-418.

DOI: [10.15666/aecer/1504_13991418](https://doi.org/10.15666/aecer/1504_13991418)

Fekete, I., Lajtha, K., Kotroczó, Zs., Várbió, G., Varga, Cs., Tóth, J. A., Demeter, I., Veperdi, G. és Berki, I. (2017): Long term effects of climate change on carbon storage and tree species composition in a dry deciduous forest. *Global Change Biology* 23(8) 3154-3168.

DOI: [10.1111/gcb.13669](https://doi.org/10.1111/gcb.13669)

Ferriss, R. S. (1984): Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. *Phytopathology*, 74(1), 121-126.

Füleky, G. (1999): Tápanyag-gazdálkodás Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 30-73., 91-115., 140-177.

Gu, H., Liu, L., Butnor, J. R., Sun, H., Zhang, X., Li, C., és Liu, X. (2021): Electrical capacitance estimates crop root traits best under dry conditions—A case study in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant and Soil*, 467, 549-567. DOI: [10.1007/s11104-021-05094-6](https://doi.org/10.1007/s11104-021-05094-6)

Gu, Y., Wag, P. és Kong, C. (2009): Urease, Invertase, Dehydrogenase and Polyphenoloxidase Activities In Paddy Soils Influenced By Allelopathic Rice variety. *European Journal of Soil Biology*, 45, 436-441. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2009.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.06.003)

Ivány K., Kismányoki T. és Ragasits I. (1994): Növénytermesztés, Mezőgazda Kiadó, 1165 Budapest, Koronafürt u. 44.

Juhos, K. és Madarász, B. (2016): Interpretation and integration of pedological data in land evaluation systems. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22(2), 209-215.

Khan, M. J., Brodie, G., Cheng, L., Liu, W., és Jhajj, R. (2019): Impact of microwave soil heating on the yield and nutritive value of rice crop. *Agriculture*, 9(7), 134. DOI: [10.3390/agriculture9070134](https://doi.org/10.3390/agriculture9070134)

Kotroczó, Z., Biró, B., Kocsis, T., Veres, ZS., Tóth, J. A. és Fekete, I. (2017): Hosszú távú szerves anyag manipuláció hatása a talaj biológiai aktivitására. *Talajvédelem* (különszám) pp, 73-83.

Kotroczó, Zs. és Fekete, I. (2020): Significance of soil respiration from biological activity in the degradation processes of different types of organic matter. *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy* 1, 171-179. DOI: [10.37281/DRCSF/1.2.10](https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.2.10)

- Kovács, P. (2020): A kukorica termésbiztonságának növelése agrotechnikai tényezők racionalizálásával csernozjom talajon. Debrecen.
- Li, H., Liu, L., Li, C., Liu, X., Ziadi, N., és Shi, Y. (2023): Efficiency of Different Soil Sterilization Approaches and Their Effects on Soil Particle Size Distribution. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-12. DOI: [10.1007/s42729-023-01315-2](https://doi.org/10.1007/s42729-023-01315-2)
- Maynaud, G., Baudoin, E., Bourillon, J., Duponnois, R., Cleyet-Marel, J. C. és Brunel, B. (2019): Short-term effect of 915-MHz microwave treatments on soil physicochemical and biological properties. *European Journal of Soil Science*, 70(3), 443-453. DOI: [10.1111/ejss.12769](https://doi.org/10.1111/ejss.12769)
- Nagy, J., Megyes, A., és Ványiné Széles, A. (2010): Vetésidő és az évjárat hatása a kukorica hibridek terméshozamára és a minőségére. *Növénytermelés*, 59(4), 63-88.
- Nugroho, P. A., Prettl, N., Kotroczó, Z., és Juhos, K. (2023): The Effect of Molasses Application on Soil Biological Indicators and Maize Growth of Different Tillage Soil: A Pot Experiment. *Journal of Environmental Geography*, 16(1-4), 119-124. DOI: [10.14232/jengeo-2023-44670](https://doi.org/10.14232/jengeo-2023-44670)
- Nutter, G.M. (1957): Soil sterilization practices in turf. *USGA Journal and Turf management*. pp. 25-27.
- Padilla, F. M., Souza, de R., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., Giménez, C. és Thompson, R. B. (2018): Different responses of various chlorophyll meters to increasing nitrogen supply in sweet pepper. *Frontiers in plant science*, 9, 1752. DOI: [10.3389/fpls.2018.01752](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01752)
- Pepó, P., Vad, A. és Berényi, S. (2006): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. *Növénytermelés*, 54, 317-326.
- Prettl, N. (2021): Talajoltó anyagok és starterműtrágya hatásának vizsgálata kukoricában két különböző talajtípuson. Agrárkörnyezettani Tanszék, Budai campus, Budapest
- Prettl, N., Biró, B., Nugroho, P. A. és Juhos, K. (2022): Labilis szén, mint a talajbiológiai aktivitás indikátora mikrobiális oltóanyagok és Ca-tartalmú talajjavító alkalmazásánál. *Journal of Central European Green Innovation*, 10(3), 13-25. DOI: [10.33038/jcegi.3559](https://doi.org/10.33038/jcegi.3559)
- Razavi, D. S. (2007): Evaluation of chemical and biological consequences of soil sterilization methods. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 5(2), 87-91.

- Samuel, L. T. és Werner, L. N. (1966): A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 149-156.
- Speir, T. W., Cowling, J. C., Sparling, G. P., West, A. W. és Corderoy, D. M. (1986): Effects of microwave radiation on the microbial biomass, phosphatase activity and levels of extractable N and P in a low fertility soil under pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 18(4), 377-382. DOI: [10.1016/0038-0717\(86\)90041-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90041-6)
- Stefanovits, P., Filep, G. és Füleky, G. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest pp. 248-320.
- Stroetmann, I., Kämpfer, P. és Dott, W. (1994): The efficiency of sterilization methods for different soils. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 195, 111-120.
- Szabó, P., Jordan, G., Kocsis, T., Posta, K., Kardos, L., Sajn, R. és Alijagic, J. (2022): Biomonitoring and assessment of toxic element contamination in floodplain sediments and soils using fluorescein diacetate (FDA) enzymatic activity measurements: evaluation of possibilities and limitations through the case study of the Drava River floodplain. *Environmental monitoring and assessment*, 194(9), 1-19. DOI: [10.1007/s10661-022-10301-7](https://doi.org/10.1007/s10661-022-10301-7)
- Szalai, Z. és Jakab, G. (2011): Bevezetés a talajtanba környezettanósoknak. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar.
- Tamás, J. (2008): Agrárium és környezetgazdálkodás, Mezőgazda Kiadó, 1063 Budapest, Lajos u. 48-66. B/2.
- Tóth, J. A., Nagy, P. T., Krakomperger, Zs., Veres, Zs., Kotroczó, Zs., Kincses, S., Fekete, I., Papp, M., Mészáros, I. és Viktor, O. (2013): The Effects of Climate Change on Element Content and Soil pH (Síkfőkút DIRT Project, Northern Hungary). In: J. Kozak et al. (szerk.), *The Carpathians: Integrating Nature and Society Towards Sustainability, Environmental Science and Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp. 77-88.
- Trevors, J. T. (1996): Sterilization and inhibition of microbial activity in soil. *Journal of Microbiological Methods*, 26(1-2), 53-59. DOI: [10.1016/0167-7012\(96\)00843-3](https://doi.org/10.1016/0167-7012(96)00843-3)
- Weil, R. R. és Magdoff, F. (2004): Significance of soil organic matter to soil quality and health. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, 1-43. DOI: [10.1201/9780203496374.ch1](https://doi.org/10.1201/9780203496374.ch1)
- Weil, R. R., Kandikar, R. I., Stine, M. A., Gruver, J. B. és Samson-Liebig, S. E. (2003): Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory

- and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(1), 3-17. DOI: [10.1079/AJAA200228](https://doi.org/10.1079/AJAA200228)
- Wolf, D. C., Dao, T. H., Scott, H. D. és Lavy, T. L. (1989): Influence of sterilization methods on selected soil microbiological, physical, and chemical properties. *J Environ Qual.*, 18, 39-44. DOI: [10.2134/jeq1989.00472425001800010007x](https://doi.org/10.2134/jeq1989.00472425001800010007x)
- Wolińska, A., és Stępniewska, Z. (2012): Dehydrogenase activity in the soil environment. *Dehydrogenases*, 10, 183-210. DOI: [10.5772/48294](https://doi.org/10.5772/48294)
- Zagal, E. (1989): Effects of microwave radiation on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(4), 603-605.

10.MELLÉKLETEK

10.1. A BARNA ERDŐTALAJON VIZSGÁLT PARAMÉTEREK KÖZÖTTI INTERAKCIÓK

BET	Magasság 23.06.22	Átlagos klorofill	Gyökérkapacitás	Gyökérnyaki átmérő	Biomassza	Gyökértömeg	Labilis szén	DHA	Nedvességtartalo m
Magasság 23.06.15	+	0	+	+	0	0	0	0	0
Magasság 23.06.22		+	0	+	+	0	0	-	0
Átlagos klorofill			0	0	+	0	0	-	0
Gyökérkapacitás				0	0	0	0	0	0
Gyökérnyaki átmérő					+	0	0	0	0
Biomassza						0	0	-	0
Gyökértömeg							0	0	0
Labilis szén								-	0
DHA									0

10.2. A RÉTI TALAJON VIZSGÁLT PARAMÉTEREK KÖZÖTTI INTERAKCIÓK

RÉTI	Magasság 23.06.22	Átlagos klorofill	Gyökérkapacitás	Gyökérnyaki átmérő	Biomassza	Gyökértömeg	Labilis szén	DHA	Nedvességtartalo m
Magasság 23.06.15	+	+	0	+	+	0	0	-	0
Magasság 23.06.22		+	+	+	+	0	0	-	0
Átlagos klorofill			+	+	+	0	0	-	0
Gyökérkapacitás				+	+	0	0	-	0
Gyökérnyaki átmérő					+	0	0	-	0
Biomassza						+	0	-	0
Gyökértömeg							0	0	0
Labilis szén								0	0
DHA									0

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kiss Máté
A Hallgató Neptun kódja: P4YJ57
A dolgozat címe: Talajkezelések hatása a biológiai talajoltás hatékonyságára és a növényi produktumra
A megjelenés éve: 2023
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 záróvizsga-bizottság 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 tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. 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 könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023. november 2.

Kiss Máté

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Kiss Máté (hallgató Neptun azonosítója: P4YJ57) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védelemre **javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023. november 2.



belső konzulens