Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Öntözés, szerves talajtakarás és a művelési eredetű talajtömörödés földigiliszta közösségre gyakorolt hatásainak komplex vizsgálata

Doktori (PhD) értekezés

Radics Zoltán

Gödöllő
2022

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Helyes Lajos

intézetigazgató, egyetemi tanár, MTA doktora

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Kertészettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Birkás Márta

egyetemi tanár, MTA doktora

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Növénytermesztési-tudomány Intézet

....

Dr. Helyes Lajos Dr. Birkás Márta

iskolavezető témavezető

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK ... 2
Jelölések és rövidítések jegyzéke ... 4
1. BEVEZETÉS ... 5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS ... 7
2.1. Az öntözés és a termésbiztonság összefüggései a változó éghajlati viszonyok között ... 7
2.1.1. Az öntözés globális helyzete ... 7
2.1.2. Az öntözés hazai helyzete ... 8
2.1.3. Az öntözés és a növénytermesztés kapcsolata ... 10
2.1.4. Az öntözés talajra és környezetre gyakorolt hatásai ... 13
2.2. Szerves talajtakarás a fenntartható gazdálkodásban ... 16
2.2.1. A fenntartható talajművelés kialakulása ... 16
2.2.2. A felszíntakarás talaj- és klímavédelemi összefüggései ... 19
2.3. A talajtömörödés kialakulása, következményei és a védekezés lehetőségei ... 25
2.3.1. A művelési eredetű talajtömörödés kialakulása ... 25
2.3.2. A talajtömörödés káros hatásai ... 27
2.3.3. A kárcsökkentés és megelőzés lehetőségei ... 30
2.4. Földigiliszták ökológiája ... 31
2.4.1. A földigiliszták előfordulása és csoportosítása ... 31
2.4.2. A földigiliszták ökológiai igénye és szerepe ... 33
2.4.3. A talajművelés hatása a földigilisztákra ... 35
2.5. A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai ... 38
3. ANYAG ÉS MÓDSZER ... 40
3.1. A kísérleti tábla bemutatása ... 40
3.1.1. Földrajzi elhelyezekedés és éghajlati jellemzők ... 40
3.1.2. Talajadottságok ... 41
3.1.3. Az alkalmazatott agrotechnikai műveletek ... 41
3.1.4. Öntözési protokol ... 43
3.2. A kísérleti kezelések bemutatása ... 45
3.2.1. Az öntözési kezelések bemutatása ... 45
3.2.2. A felszíntakart parcellák kialakítása, a mintavételi pontok kiválasztása ... 46
3.3. Kutatási módszerek ... 48
3.3.1. A talaj kémiai tulajdonságainak vizsgálata ... 48
3.3.2. A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata ... 49
3.3.3. A talajvíz és az öntözővíz minőség vizsgálata ... 50
3.3.4. A földigiliszta mintavételezés ... 51
3.3.5. Statisztikai elemzés ... 52
4. EREDMÉNYEK ... 53
4.1. A meteorológiai adatok értékelése ... 53

4.1.1. Hőmérsékleti viszonyok a vizsgált időszakban ... 53
4.1.2. Csapadékviszonyok a vizsgált időszakban ... 53
4.1.3. A 0-10 és a 10-30 cm-es talajrétegek nedvességtartalmának vizsgálata ... 55
4.1.4. A felső talajréteg nedvességtartalma ... 59
4.2. Az öntözővíz és a talajvíz minőség vizsgálatok eredményei ... 61
4.3. A talaj kémiai és fizikai jellemzőiben bekövetkezett változások ... 62
4.3.1. Az öntözési módok hatása a talaj kémiai tulajdonságaira ... 62
4.3.2. A felszíntakarás hatása a talaj kémiai tulajdonságaira ... 65
4.3.3. Az öntözés és a felszíntakarás hatása a talajellenállásra ... 66
4.3.4. A gépi taposás hatása a talajellenállásra ... 83
4.4. A földigiliszta egyedszám és biomassza vizsgálatok eredményei ... 86
4.4.1. A földigiliszta közösség faj- és korösszetétele ... 86
4.4.2. A öntözés hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára ... 88
4.4.3. A mulcsozás hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára ... 89
4.4.4. A talajtömörödés hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára ... 91
4.5. Új tudományos eredmények ... 93
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK ... 94
6. ÖSSZEFOGLALÁS ... 97
7. SUMMARY ... 100
8. MELLÉKLETEK ... 103
M1. Irodalomjegyzék ... 103
M2. Táblázatok és ábrák jegyzéke ... 122
M2.1. Táblázatok ... 122
M2.2. Ábrák ... 123
M.3. Kiegészítő táblázatok ... 124
M4. Fényképfelvételek ... 157
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... 163

Jelölések és rövidítések jegyzéke

Rövidítések:

EU – European Union
FAO – Food and Agricultural Organization
Gt – gigatonna
KSH – Központi Statisztikai Hivatal
OMSZ – Országos Meteorológiai Szolgálat
SE – Szignifikáns eltérés
SWT - talajnedvesség-szívás értéke (soil water tension - cbar)

Kezelések jelölései:

Öntözési kezelések szerint három típus:
LÖ – lineár öntözött
DÖ – dobos öntözés
NÖ - nem öntözött (kontroll)

Talajtakarás módja szerint két kezelés:
M – mulcsozott
NM – nem mulcsozott

Talajtaposás szempontjából két kezelés:
T – taposott (munkagépek által)
NT- nem taposott

Kísérleti parcellák jelölései:

LÖ-M-T: lineárral öntözött – mulcsozott – taposott
LÖ-M-NT: lineárral öntözött – mulcsozott – nem taposott
LÖ-NM-T: lineárral öntözött – nem mulcsozott -taposott
LÖ-NM-NT: lineárral öntözött – nem mulcsozott – nem taposott
DÖ-M-T: dobos öntözés - mulcsozott – taposott
DÖ-M-NT: dobos öntözés - mulcsozott – nem taposott
DÖ-NM-T: dobos öntözés - nem mulcsozott -taposott
DÖ-NM-NT: dobos öntözés - nem mulcsozott – nem taposott
NÖ-M-T: nem öntözött - mulcsozott – taposott
NÖ-M-NT: nem öntözött - mulcsozott – nem taposott
NÖ-NM-T: nem öntözött - nem mulcsozott -taposott
NÖ-NM-NT: nem öntözött - nem mulcsozott – nem taposott

1. BEVEZETÉS

A klímaváltozás új kihívások elé állította a földműveléssel foglalkozó szakembereket. A korábbi intenzív növénytermesztési szemléletet felváltotta a fenntartható földművelési rendszerek alkalmazása. Míg korábban kizárólag a nagy termésekre törekvés jellemezte a növénytermesztést, mára a talaj szerkezetét, termőképességét és biológiai változatosságát figyelembe vevő földhasználat került előtérbe. Ennek eredményeként csökkent a környezetet károsító kémiai anyagok kijuttatása, emellett háttérbe szorultak a talaj leromlást előidéző talajművelési rendszerek. A 2010-es években egyre inkább előtérbe kerültek az öntözésfejlesztési kérdések, több támogatási programban igényelhettek a gazdálkodók vissza nem térítendő forrásokat a beruházásaikhoz, valamint állami támogatással volt lehetőségük öntözővízhez jutni. Mindezek ellenére jelenleg a természeti adottságainkhoz és a közmű ellátottsági viszonyokhoz képest a ténylegesen öntözött területek mérete hazánkban elmarad a lehetőségektől.

A sokmenetes művelési rendszerek alkalmazásának ökonómiai hátrányai, továbbá a talajok leromlásában játszott jelentős szerepe jórészt ismertek. A mai gazdálkodók feladata a talajok szerkezet- és szervesanyag-kímélésén keresztül az állapotfenntartás és az állapotjavítás. Fő feladat a talajművelés során a nedvesség-, levegő- és hőforgalom kedvező irányú befolyásolása. A felszín védelme és ezáltal a biológiai tevékenység élénkítése is jelentős szerephez jutott. Az egyre gyakoribbá váló kedvezőtlen klimatikus hatásokra a növénytermesztés eredményesen csak akkor tud válaszolni, ha a talajok védelmét elsődleges feladatként kezeli. A talajművelés során törekedni kell arra, hogy a talaj minél több vizet legyen képes befogadni és megőrizni a növények számára, mert ezzel csökkenthető az öntözéssel pótlandó víz mennyisége.

A globális mezőgazdaság legégetőbb kihívásává mára a szárazság vált. Földünkön az átlaghőmérséklet az elmúlt 50 évben megközelítően 1°C-kal emelkedett. Ezzel párhuzamosan csökkentek a vízkészletek, az évszakok megváltoztak, esetenként kimaradtak, továbbá a csapadék eloszlásában is jelentős változások következtek be. Ezek a hatások újabb és újabb kihívások elé állítják a növénynemesítőket, a talajművelőket és az öntözési szakembereket. Miközben növekszik a szárazság az élelmiszerigény is fokozódik a Föld népességnövekedése következtében. A szárazság sújtotta területek talajállapotának és talajéletének megőrzése kulcsfontosságú a jövő mezőgazdasága szempontjából, mivel a klímaváltozás kihívásaira a talajok védelme nélkül nem lehet megfelelő válaszokat adni.

Kutatásaimban szántóföldi körülmények között több éven keresztül azt vizsgáltam, hogy kétféle esőztető öntözési technológia, vagyis a lineárral (LÖ) és az öntöződobbal (DÖ)

végzett vízpótlásnak milyen hatása van a talajok biológiai aktivitására. A két kijuttatási mód esetében eltérés van a cseppméret és a cseppek kinetikus energiája között. Míg az öntöződob esetében egyetlen szórófejből, addig a lineár berendezés esetében sok szórófejen keresztül juttatjuk ki a kívánt mennyiségű öntözővizet jellemzően nagyobb területi eloszlásban. Az egyik kérdés, amelyre a választ kerestem az volt, hogy a talaj szempontjából kíméletesebbnek tartott lineár öntözés alatt kedvezőbben alakulnak-e a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai? Az öntözött talajok fizikai és kémiai paramétereit összehasonlítottam az öntözetlen (NÖ) területről gyűjtött adatokkal, ezért az adatok három kísérleti kezelésből származnak. Megvizsgáltam mindhárom kezelési módon belül a talajtakarás és a művelési eredetű talajtömörödés hatásait külön-külön és egymással összehasonlítva. Az előbb felsorolt tényezők talajéletre gyakorolt hatásait a földigiliszták számán és biomasszáján keresztül vizsgálom meg a dolgozatomban. Az adataimat olyan területről gyűjtöttem, amelyet gazdálkodóként évek alatt alaposan megismertem. Megszerzett tapasztalataim alapján a bennem felmerült kérdésekre igyekszem kísérleti úton választ adni értekezésemben.

A kísérlet megtervezése során az alábbi feladatokat jelöltem ki:

- A talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban kimutatható eltérések lineár (LÖ) és csévélődobos (DÖ) öntözés között egymáshoz és a kontroll nem öntözötthöz (NÖ) viszonyítva.
- Mindhárom kísérleti (LÖ, DÖ, NÖ) kezelésen belül szalmával takart és nem takart területeket alakítottam ki a talajtakarás hatásának a talajnedvességre és a penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásainak vizsgálatára.
- A földigilisztaszámban tapasztalható eltérések kimutatása az öntözési módok között.
- A földigiliszták bőségében tapasztalható esetleges eltérések lehetséges magyarázata a talajtulajdonságokban bekövetkezett változások függvényében.
- A talajtakarás hatásának vizsgálata a földigiliszták előfordulására.
- A művelési eredetű talajtömörödés a földigiliszták számára és biomasszájára gyakorolt hatásának kimutatása.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Az öntözés és a termésbiztonság összefüggései a változó éghajlati viszonyok között

2.1.1. Az öntözés globális helyzete

A mezőgazdasági termelésben és globális élelmiszerbiztonságban a víz szerepe kiemelten fontos. Jelenleg az öntözött mezőgazdasági területek aránya az összes termőterület 20%-át teszi ki, ugyanakkor a világszerte termelt összes élelmiszer mintegy 40%-a származik öntözött területekről. Az öntözött mezőgazdasági terület átlagosan legalább kétszer olyan termelékeny, mint a nem öntözött terület. Ezen felül az öntözés lehetővé teszi az intenzívebb növénytermesztést és a termelés diverzifikációját (WORD BANK 2020). Világviszonylatban a felhasznált édesvíznek mintegy 69%-át a mezőgazdaság használja fel. Az ipar 19%, a háztartások 12% arányt képviselnek. A mezőgazdasági vízfelhasználás aránya nagyban függ az adott régió klimatikus és gazdasági adottságaitól (FAO 2014). A változó éghajlat és az élelmiszerek iránti folyamatosan növekvő kereslet miatt a vízhiány globális jelenséggé vált. A növekvő szárazság gyakorisága és a változó éghajlattal járó bizonytalanság az öntözési ágazatot hatékonyabb vízfelhasználásra ösztönzi (MONAGHAM et al. 2013).

Világviszonylatban jelenleg mintegy 324 millió hektár öntözött terület ismert. Területi kiterjedés szerint Ázsiában a legmagasabb az öntözhető területek aránya (41%) a teljes megművelhető területhez képest, majd Észak- és Dél Amerika együttesen 13%-kal, ezt követően Európa (9%) és Ausztrália és Óceánia (7%), legvégül Afrika (5%) következik. Kínában (69,4 millió ha) és Indiában (66,7 millió ha) öntözhető terület található, amely az összes öntözhető terület mintegy 42%-a (FAO 2014).

Az árasztásos öntözés alacsony hatékonysága és nagy vízigénye miatt a számos módosított öntözési rendszert fejlesztettek ki, beleértve a barázda öntözés különféle módjait (KANG et al. 2000). Az öntözött területek 86%-án felszíni öntözési módot alkalmaznak, mintegy 280 millió hektáron. Esőztető berendezésekkel az összterület 11%-án találkozhatunk, amely 35 millió hektárt jelent. A legkisebb részarányt jelenleg a mikroöntözés képvisel mindössze 3%-kal, 9 millió hektáron (FAO 2014). Az éghajlatváltozás azonban vélhetően kikényszeríti majd a víztakarékos öntözési eljárások fokozott elterjedését (NOVÁKY 2000). A precíziós öntözési rendszerek elterjedése pedig abban segít a termelőknek, hogy a lehető legmagasabb terméshozamot érjék el a leghatékonyabb vízfelhasználás mellett növelve ezzel az elérhető jövedelem szintjét (BONFANTE et al. 2019).

Az öntözéses gabonatermesztés az összes öntözött terület 61%-át teszi ki, amelynek mintegy felén rizstermesztés folyik. A zöldségfélék aránya 10%-ot, a takarmánynövények és legelők részaránya 7%-ot, a gyümölcsöké 6%-ot, rostnövényeké 5%-ot, a cukornövények 4%-ot képviselnek az összes öntözött mezőgazdasági területből (FAO 2014).

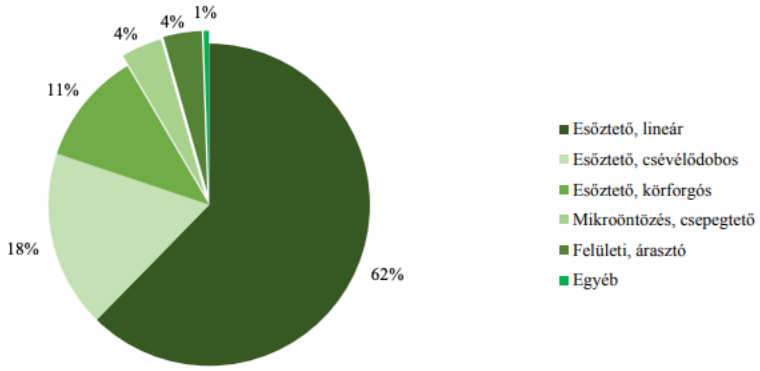
Az öntözési rendszerek teljesítménye a világ minden táján az elvárt szint alatt van. A mezőgazdasági vízhasználat hatékonyságának javítása a fenntartható fejlődés érdekében is szükséges, mivel az öntözés szorosan összefügg a hozamstabilitással, a jövedelmezőség növekedésével és a magasabb foglalkoztatási rátával, valamint szegénység csökkenésével (HUSSIAN 2007). ZHANG et al. szerint (2021) nagy hatékonyságú öntözési módszerek, valamint az optimális vízkijuttatás nemcsak a terméshozamot növelik, hanem gazdasági hatásuk is jelentős azáltal, hogy a termelők nagyobb nyereséget érhetnek el az alkalmazásukkal.

2.1.2. Az öntözés hazai helyzete

Hazánkban öntözési vízjogi engedéllyel mintegy 200 ezer hektár termőterület rendelkezik, amelyből jelenleg mintegy 100 ezer hektárt öntöznek a gazdálkodók. Az öntözött területek nagysága az elmúlt időszakban változatos képet mutatott. Míg 2003-ban közel 130 ezer hektárt öntöztek, addig a 2010-es évben csupán 55 ezer hektárt. A kiöntözött összes vízmennyiség is ennek megfelelően alakult, vagyis míg 2003-ban meghaladta a 180 ezer m^3-t, addig 2010-ben összesen csupán 55 ezer m^3 öntözővizet juttattak ki a KSH (2019) kimutatásai szerint. A kertészeti és a szántóföldi növények együttes területének mintegy 2-2,5%-át öntözik csupán, amely a termelési értéknek kb. a 15-20%-át adja. Hazánkban az átfolyó vizekből 120 km^3, valamint a csapadékból 60 km^3 víz áll rendelkezésre. A csapadék a transzspiráció és részben az evaporáció útján a növényzetet szolgálja. Az átfolyó 120 km^3 vízből csupán 6 km^3-t hasznosítanak, amelynek jelentős része visszajut a vízfolyásokba. A növények kiegészítő vízellátására mindössze 0,5 km^3 vizet használnak fel. Általánosságban elmondható, hogy víz van, de nem mindig akkor, ott, annyi és olyan áron, hogy azt öntözési célokra gazdaságosan tudnák felhasználni (CSELŐTEI 2005).

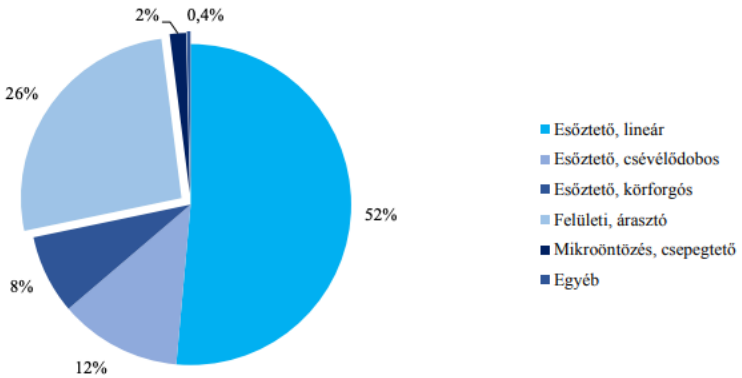
Hazánkban mind a lehetőségekhez, mind pedig más európai országokhoz képest az öntözés terén jelentős elmaradások tapasztalhatók. A mezőgazdasági művelés alatt álló területeinknek csupán 5%-át öntözik, miközben a Tiszántúl és a Duna-Tisza köze főművekkel való ellátása a területek 45%-án biztosítaná az öntözés lehetőségét. A fejlett európai országokkal összehasonlítva is jelentős a lemaradásunk, mivel ezekben az országokban az öntözhető területeknek akár 80%-át is hasznosítják (JUHÁSZ 2011).

A 2019-ben a megöntözött területek több, mint kilenctizedén hazánkban esőztető öntözőberendezéssel biztosították az öntözővizet *(1. ábra)*. Ezen belül a leginkább elterjedt kiadagolási mód az esőztető lineár öntözőberendezés (62%), ezt követően pedig esőztető csévélődobos berendezés (18%) volt, továbbá körforgó berendezés alkalmazásával (11%) is végeztek öntözési tevékenységet. A felületi öntözés (árasztás) aránya 4% volt, a csepegtető öntözés részaránya ugyancsak 4%-ot tett ki.



1. ábra: Az öntözött területek megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint (2019).
(Forrás: NAIK AKI Agrárstatisztikai Osztály)

A kiöntözött vízmennyiség több mint kétharmadát esőztető öntözőberendezéssel juttatták ki *(2. ábra)*. Ezen belül az összes felhasznált víz 52%-át lineár berendezésekkel juttatták ki, 12%-át a csévélődodos öntözőtelepek használták fel, 8%-át a körforgós berendezésekkel, a felületi (árasztó) öntözés pedig 26%-os arányt képviseltek.



2. ábra: A kiöntözött vízmennyiség megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint (2019).
(Forrás: NAIK AKI Agrárstatisztikai Osztály)

A 2019. évi statisztikai jelentés a megöntözött területekről az alábbiakat tartalmazza:

- a vizsgált évben 76 264 hektáron 131 millió m³ vizet öntöztek ki a gazdálkodók,

- az öntözött területek 84,1%-a az Alföldön található, ide a kiöntözött vízmennyiség több mint háromnegyede jutott,
- az Alföldön a vízjogi engedéllyel rendelkező területek közel 60%-án, míg Nyugat-Dunántúlon mindössze 16% -án öntöztek a vizsgált évben,
- hektáronként az átlagosan felhasznált öntözővíz mennyisége 1.714 m^3 volt, jelentős szórás mellett, mivel Közép-Magyarországon ez az érték 7.922 m^3 volt,
- az öntözővíz eredete 93,55%-ban felszíni víz, 5,92%-ban felszín alatti és 0,53%-ban parti szűrésű víz (DEMETER 2020).

A talajok a téli hónapokban rendelkeznek a legmagasabb talajnedvességi értékekkel. Ebben az időszakban hull a legkevesebb csapadék, azonban a párolgás mértéke olyan kevés, hogy a csapadéknak szinte a teljes mennyisége felhalmozódik a talajban. A tavaszi hónapokban a hőmérséklet emelkedésével fokozatosan növekszik párolgás mértéke. A megnövekedett párolgás hatását nem képes ellensúlyozni az időszakra jellemző nagyobb csapadékmennyiség sem, amely csúcsértékét június hónapban éri el. A júliustól szeptember végéig terjedő időszakban a legalacsonyabb hazánkban a talaj nedvességtartalma. A fokozatos lehűlés miatt október és november hónapokban lecsökken a párolgás, valamint ekkor az éves csapadékeloszlásban másod-maximum figyelhető meg, ezért ismét megkezdődik a talajban a nedvesség lassú felhalmozódása (VARGA - HASZONITS et al. 2008). Mind az évszakokat tekintve, mind éves szinten a hőmérséklet egyértelmű emelkedést mutat hazánkban. Különös problémát jelent, hogy a legnagyobb évszakos növekedés a nyári hónapokban jelentkezik. Míg az évi középhőmérséklet emelkedése 0,86 °C volt az 1901 és 2007 közötti időszakban, addig a nyarak melegedése meghaladta az 1°C-ot. A hőmérséklet növekedése elsősorban a megnövekedett párolgás következtében fejti ki a növénytermesztésre a kedvezőtlen hatását, mivel ez nem jár minden esetben együtt a csapadék növekedésével (SZALAI 2011).

2.1.3. Az öntözés és a növénytermesztés kapcsolata

Vízpótlás. A növényekben akkor következik be vízhiány, ha a növény vízigénye meghaladja a vízellátottságot. Megnövekedett transzspiráció következtében a levél vízpotenciálja csökken, a talaj jó vízellátottsága mellet azonban a levél vízhiánya azonnal pótlódik (TARI et al. 2003). Öntözéssel nő a termés mennyisége, csökken a termésingadozás és növekszik a termésbiztonság. Vízpótló öntözéssel a növény fő vízfelvételi időszakában „a víz mennyiségi hatása” használható ki (CSELŐTEI et al. 1980). A gabonanövények automatikus öntözési ütemezéséhez a növényi és a talajnedvesség érzékelők együttes használata szükséges az optimális növényi reakció elérése érdekében, nem elegendő csupán a

növényi visszacsatolás vizsgálata (O'SHAUGHNESSY et al. 2020). A kalászos gabonák öntözési reakciója kicsi, hazánkban nem tartoznak az öntözött növények közé. A gabonanövények közül egyedül a kukoricának kiváló az öntözési reakciója, a többi jó reakciójú szántóföldi növény pl. a cukorrépa és a burgonya termesztése az elmúlt évtizedeben jelentősen lecsökkent (JOLÁNKAI és BIRKÁS 2010). VARGA és VEISZ (2014) üvegházi modellkísérletekben vizsgálták az őszi búza genotípusok CO_2-reakcióját optimális vízellátásnál, valamint a fejlődés kritikus fázisaiban szimulált aszályhelyzetben. Jelentős különbségeket találtak egyrészt a fajták vízmegvonással szembeni érzékenységében, másrészt azt átmeneti vízhiány következtében a teljes tenyészidőszak alatt felvett vízmennyiség hasznosulásában.

A tápanyaggazdálkodás javítása. Az évhatás különböző vetésváltási rendszerekben, mint abiotikus stressz módosította a kukorica trágyaadag optimumát. Száraz évjáratokban kisebb műtrágya adagok bizonyultak optimálisnak az ún. kedvező évekhez képest. Az időjárási stresszhatásokat megfelelő agrotechnikával (vetésváltás, trágyázás, öntözés) lehet mérsékelni, de megszüntetni nem lehet (PEPÓ 2009). Ugyanakkor a nitrogén trágyázás termésmennyiségre gyakorolt hatása függ a talaj felvehető víztartalmától (NING et al. 2019).

A precíziós tápanyag-kijuttatás és csepegtető öntözés kombinált alkalmazásának hatását vizsgálták FAN et al. (2020). A hagyományos művelési eljárást felváltották a két rendszer együttes alkalmazásával két egymás követő évben, miközben a trágyázási adagokat csökkentették. A kukoricanövény magasságában, levélfelület-indexben, a föld feletti biomasszában és a terméshozamban nem következett be jelentős csökkenés, mivel a precíziós öntözés és tápanyagellátás kedvezően hatott a vízhasznosulásra és a tápanyaggazdálkodásra. Számításaik szerint a rendszer alkalmazásával 30-50%-os műtrágyamegtakarítás érhető el.

Az öntözési optimum megállapítása. KHOZAEI et al. (2020) szerint a cukorrépa vízpótló öntözése növelte a cukor koncentrációját és bizonyos szintig nem csökkentette a cukor hozamát. A teljes vízellátáshoz képest 75%-ban (I75) öntözött kezelésben 7,4%-kal, az 50%-os (I50) kezelésben pedig 26,4%-kal csökkent a gyökérhozam. A teljes vízellátáshoz képest a fehér cukor hozamában az I75 kezelésben szignifikánsan nem volt különbség, csupán az I50-es kezelésben volt jelentős, 17%-os eltérés kimutatható.

ZHONG et al. (2021) ugyancsak a vízpótló öntözés hatékonyságát vizsgálták az őszi búza teljes tenyészidőszakában A kezelésekben a talaj teljes vízellátása felé haladva lineárisan csökkenő CO_2-kibocsátást és talajhőmérséklet mértek, emellett nőtt a vízzel töltött pórustér mennyisége. A talaj hőmérséklete és nedvességtartalma nem befolyásolta a N_2O kibocsátást. Az értékelés során figyelembe vették a búzahozamot, amelyre bizonyos szint fölött a többlet

vízellátás már kedvezőtlenül hatott. Ezért úgy ítélték meg, hogy a teljes vízellátásnál 30%-kal kevesebb öntözés a legkedvezőbb vízpótlási szint a hozam és üvegházhatású gázok kibocsátása szempontjából. Hasonló eredményekről számoltak be PARDO és munkatársai (2020). Habár ők a kísérleteikben a legmagasabb árpahozamot a hiány nélküli kezeléssel érték el az optimalizált hiányöntözési rendszerben félszáraz körülmények között, ugyanakkor fontosnak tartották megjegyezni, hogy az árpa öntözési igényének 80%-os kielégítése mellett érhető el a legkisebb „vízlábnyom". Véleményük szerint ez a kezelési szint tekinthető a vízhasználat szempontjából leginkább hatékonynak és egyben a legfenntarthatóbbnak.

Öntözési intenzitás szerepe a növények fejlődésben. Az öntözések közötti időtartamok növelésének hatását vizsgálták KAZEMEINI et al. (2014) kukorica esetében. Az eredményeik azt mutatták, hogy a megnövekedett öntözési intervallumok csökkentették a növények magasságát (14,6%), a levélfelület-indexet (12,9%), a gyökérzetet (10,1%), a soronkénti szemszámot (29,8%), az ezerszem-tömeget (6,9%) és a betakarítási indexet (23,2%). Ugyanakkor az öntözési módok és a kijutatott vízmennyiség jelentősen befolyásolják a szemtermés mennyiségét, a teljes tenyészidőszak vízfelhasználását és a speciális növekedési időszakok vízfelhasználását egyaránt (ZHANG et al. 2021).

Hőszabályozás. A talaj nedvességtartalma hatással van az evapotranszspirációra és ezáltal a növények hőszabályozási folyamataira. Szélsőséges párologtatási körülmények között amennyiben a talajnedvesség értéke a szántóföldi vízkapacitás körül mozog, úgy a párologtatás elegendő ahhoz, hogy a burgonyaleveleket a környezeti hőmérséklet alatt tartsa. Ide vonatkozóan LOMAS et al. (1972) megállapították, hogy öntözéssel a déli időszakban a burgonyalevél felületén akár 10-12 °C-os hőmérsékletcsökkenés is elérhető.

Közvetett és közvetlen hatások. Az öntözés hatása alapján megkülönböztetünk öntözési típusokat, úgymint: tározó öntözés, vízpótló öntözés, tápláló öntözés, kelesztő öntözés, trágyázó öntözés, frissítő öntözés, fagyvédelmi öntözés és talajjavító öntözés. Az öntözés közvetlen hatásai: többlettermés, biztonság, minőség, terület megtakarítás. Közvetett hatások közé soroljuk a trágya és gyomirtószerek hasznosulását, a másodvetést, a hatékonyabb ültetvénytelepítést és aktívabb talajéletet (VÁRADI 2012). Kutatási eredmények szerint a kukorica 30%-kal, a szója akár 60%-kal, a lucerna 45%-kal és az alma 33%-kal teremhet többet öntözött körülmények között megfelelő agrotechnika, tápanyagellátás és növényvédelem alkalmazása mellett, mint a nem öntözött területen (DEMO 2001).

2.1.4. Az öntözés talajra és környezetre gyakorolt hatásai

Az öntözés hatása a talajszerkezetre. EMDAD et al. (2004) szerint az öntözővíz minősége hatással van a talajok szerkezeti tulajdonságaira és az öntözés hatékonyságára. Megállapították, hogy a magas nátrium adszorpciós aránnyal (SAR) rendelkező öntözővíz csökkenti az aggregátumstabilitást, valamint növeli a felszíni kéreg kialakulását és a talaj ülepedését, ugyanakkor csökkenti a vízvezetőképességet, a beszivárgási mélységet és a porozitást. Ahol alacsony nátrium adszorpciós arányú vizet használtak, ott az első négy öntözés után nem volt jelentős különbség a beszivárgási mélységben. Közepes vagy magas adszorpciós öntözővíz használata esetén a végső beszivárgási mélység az egymást követő öntözési kezelések mindegyikében csökkent.

Az öntözés és a műtrágyák együttes hatása a talajszerkezetre változatos és gyakran ellentmondásos lehet. Kedvezőtlen körülmények között vagy jelentős mennyiségű felhalmozódás esetében az ammónium műtrágyák a talaj szerkezeti egységeiben kárt okozhatnak, amellyel hozzájárulnak a talajszerkezet romlásához. Ugyanakkor HUISZ et al. (2009) arról számoltak be, hogy kísérleteikben az öntözés kedvezően befolyásolta az aggregátumok vízstabilitását.

A tápanyagok kilúgzódása. A túlzott öntözés következtében a felszín alatti vízrétegbe olyan növényvédőszerek és tápanyagok juthatnak, amelyek károsítják a környezetet. Ezért különösen homokos talajon kell elkerülni azt a szintű N kijuttatást, amely már nem növeli a hozamot, de közben súlyosan növeli a nitrátkimosódás veszélyét (GHOLAMHOSEINI et al. 2013). A mélybe mosódott tápanyagokat a növények már nem képesek felvenni, ezért a környezetkárosító hatás mellett anyagi kár is keletkezik. Ezért is célszerű az öntözővíz adagokat úgy megválasztani, hogy ez a káros hatás ne következzen be (TÓTH 2011).

Öntözött körülmények között a talajtakarás és csepegtető öntözés együttes alkalmazása jelentős mértékben csökkenti a tápanyagok kilúgzását. WANG et al. (2020) tanulmányukban kimutatták, hogy talajtakarással és csepegtető öntözéssel évente átlagosan 28%-kal javult a vízfelhasználás hatékonysága és 39%-kal javult a nitrogénfelhasználás hatékonysága. A hatékonyság növekedése a víz elszivárgásából származó veszteség 56%-os, a nitrogén elfolyás 68%-os csökkenésének volt köszönhető.

Talajtömörödés. Öntözött talajokat a lehullott csapadék hamarabb telíti vízzel, amelynek következtében a talajok teherbíró képessége csökken. Az öntözött táblákon jellemzően nagyobb a termés mennyisége, amelynek elszállítása nagy gépi munka felhasználással jár. Az így keletkezett tömör réteg nehezen vízáteresztő, az öntözést követően

lehullott csapadék nem képes a mélybe szivárogni emiatt levegőtlenség alakul ki a gyökérzónában. A kedvezőtlen hatás ellen négyévenként korán betakarítható növényt kell termeszti, amely után a talaj mélylazítása (40-60 cm) elvégezhető (TÓTH 2011).

A cseppátmérőnek 1 mm-ről 5 mm-re növelésénél a víz talajba szivárgásának sebessége 70%-kal csökkenhet a talajtömörödés következtében, amelyet a cseppek megnövekedett kinetikai energiája idéz elő. Ez a jelenség még laza, homokos talajokon is megfigyelhető (VARGA 1962). Ennek tudtával a szórófejek értékelésénél figyelembe kell venni a szórási sugár-menti cseppeloszlást. A szórófej közelében ui. sokkal kisebb átmérőjű cseppek hullnak, mint a szórási sugár végén, ezért egyetlen szórófej hatásterületén is egyenlőtlen a talajszerkezet változása. A szórási sugár meghatározott helyeiről nyert cseppjellemzők hisztogramjairól leolvasható, hogy egyetlen helyen is jelentősen változó a cseppméret és a cseppsebesség. A talajtömörítést a cseppek a munkavégzőképességük arányában végzik, ezért az esőminőséget kézenfekvő egy munka jellegű mennyiséggel, a cseppenergia összeggel jellemezni (CSEKŐ 1976).

Felszíni kéregképződés. Fizikai és kémiai folyamatok együttes hatásaként alakul ki a talajfelszín kérgesedése. A vízcseppek ütőhatása az elsődleges károsító tényező. A felszínre ható energia nagysága a cseppek nagyságától, számától, sebességétől és a becsapódás szögétől függ. A kémiai folyamatok a nagy mennyiségű és alacsony iontartalmú víz bekerülésével fejtik ki hatásukat. A talaj felső néhány mm-es rétegéből az agyagásványokat stabilizáló ionokat kimossák, amelynek következtében az aggregátumok kisebb részekre esnek szét, eliszapolódnak. Emiatt a pórusok átmérője és mennyisége is lecsökken. A folyamatot tovább erősíti a cseppek ütő és tömörítő hatása. A talajfelszín vízáteresztő képessége ezen folyamatok következtében lecsökken és a kiszáradást követően kemény kéreg alakul a talaj felszínén (TÓTH 2011). VALENTIN és BRESSON (1992) a kérgesedés kialakulása szerint három csoportot különböztetett meg, úgymint szerkezeti, eróziós és lerakódási csoportokat. A csoportokon belül pedig további alcsoportokat írtak le a keletkezett szerkezeti eltérések alapján.

AL-QINNA és ABU-AWWARD (1998) szerint az eleve nedves talaj öntözése során csökken a beszivárgás, a talajfelszín iszapossá válik, amelynek száradása után kéregképződés figyelhető meg. A képződő üledékes kéreg újabb csapadékadagnál gátolja a víz beszivárgását és jelentősen növeli a felszíni elfolyást. Ezen felül fontos továbbá a helyes öntözési vízmennyiség megválasztása is, mivel a 6,2 mm/óra intenzitás 28,4 mm/órára történő növelése az elfolyási veszteséget tízszeresére növelheti.

Erózió. Az erózió síkvidéken és dombvidéken egyaránt előfordulhat. A síkvidéki erózió jellemzően a szikes talajokon következik be, mivel ezek a talajok könnyen duzzadnak és

zsugorodnak, felszínük nedvesség hatására elfolyósodik. Kiszáradva mély repedések képződnek, amelyekbe csapadék hatására a kolloidok mélybe mosódnak. Ezen felül a felső termőréteg vékonyodása és a talajszelvény tömörödése jelentkezik. A talajpusztulás a szemmel alig látható 1%-os lejtőn is bekövetkezik. A dombvidéken előforduló felületi rétegerózió nagy veszélye, hogy kezdetben szabad szemmel nem észrevehető, amikor pedig szemmel láthatóvá válik, rendszerint igen nagy a kár (TÓTH 2002). Esőszerű öntözésnél a szórófejből nyomás alatt kilépő vízsugár a levegőben különböző méretű cseppekre bomlik. A cseppek tömegüktől függően számottevő kinetikai energiatartalommal rendelkeznek. Elsősorban a fedetlen talajokon várható a cseppek nagy energiatartalma miatt a csepperózió kialakulása. A leeső cseppek szétrobbantják a talajaggregátumokat és a talajrészecskéket a levegőbe emelve szétfröcskölik. A felületet borító víz mozgása a szétszórt anyagrészeket mozgásban tartják. Az erózió természetes eső mellett is bekövetkezik, ugyanakkor az esőszerű öntözésnél általában nagyobb cseppmérettel és nagyobb intenzitással kell számolni, mint a természetes csapadék esetében (SZALAI 1968).

Öntözési tevékenység során két út kínálkozik az erózió elleni védelemben. Egyrészt törekedni kell kisméretű cseppeket előállítani a szórótávolság csökkentése nélkül, amely önmagában véve bizonyos mértékben ellentmondás. Másrészt a fúvókaátmérő és a nyomás figyelembevételével olyan öntözővíznormát kell megállapítani, amely mellett a közepes méretű talajmorzsák tönkremenetele még éppen nem következik be (VARGA 1962).

Szikesedés. Világszerte a szántóföldi művelés alatt álló területek 18%-át öntözik. Az öntözési tevékenységhez szorosan kapcsolódik az adott terület vízrendezésének kérdése. Jelenleg azonban ez a feladat a legtöbb helyen nincs megoldva, ezért az összterületek 10-16% érintett a szikesedéssel. A talajok sótartalmának szabályozásához ugyanis nem elegendő csupán a talajok természetes vízelvezető képességére támaszkodni (RITZEMA 2016).

A hazánk talajainak természetes szikesedési folyamatát HERKE (1962) írta le. Ahol a talaj felső 20-25 cm-es rétegében évezredeken át az áradások következtében bepárolgás történik, ott még a kevés Na-sót tartalmazó vízből is idővel nagy mennyiségű Na-só halmozódhat fel. A vízben oldható Mg és Na sók felhalmozódva megváltoztatják a talaj adszorpciós komplexusát. Egyre inkább uralkodóvá válnak a Na-sók, amelyek karbonát, hidrokarbonát, klorid, szulfid alakban lesznek jelen és erősen lúgos szikes talajokat hoznak létre. A szikesedés emberi tevékenység eredményeként is bekövetkezhet. VÁRALLYAY (1989) ezek között említi meg az öntözővíz magas sótartalmát, a nem bélelt csatornákat és tározókat, a hibásan tervezett öntözési gyakorlatot és a helytelen vízelvezetést. A káros hatások elkerülése érdekében a jó minőségű öntözővíz használata mellett javasolja a talajvízszint

szabályozását vízszintes vízelvezetéssel. BAHCECI és NACAR (2009) kimutatták, hogy felszín alatti vízelvezető rendszer alkalmazásával mintegy 80%-kal csökkenthető 20 cm-es mélységig a talajok sótartalma.

2.2. Szerves talajtakarás a fenntartható gazdálkodásban

A környezetkímélő talajművelés olyan erőforrást megtakarító szemlélet, amely elfogadható nyereség elérésére törekszik magas és tartós termelési szint mellett, ugyanakkor kíméli a környezetet. A talajt zavaró mechanikus behatásokat igyekszik a minimumra csökkenteni és a külső inputokat, mint például agrokémiai anyagok és az ásványi vagy szerves eredetű tápanyagok felhasználását optimális módon, a biológiai folyamatok figyelembevételével alkalmazza. Ezért az alábbi három jellemzőnek felel meg: (1) a talaj minimális bolygatása, (2) a talajtakarás mérteke a három kategória egyikébe sorolható közvetlenül a vetés után 30-60% - 61-90%, - 91%+, de 30%-os borítottsági szint alatt nem beszélhetünk kímélő talajművelésről, (3) a vetésforgónak legalább három különböző növényt kell tartalmaznia (KASSAM et al. 2009). A klímakár csökkentés legfontosabb teendői között említi meg BIRKÁS és JOLÁNKAI (2008) a felszín takarását zúzott tarlómaradványokkal a tenyészidőszak alatt a hőstressz csökkentése érdekében, illetve idényen kívül talaj- és nedvesség-védelmi célokból (*3. ábra*). A bekevert és felszínen maradó tarlómaradvány csökkenti a víz- és széleróziós károkat és megóvják a talajnedvességet. (BOTTLIK 2017).

3. ábra: Talajvédő mulcsművelés nehézkultivátorral
(Forrás: https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2017/02/szantofold/oszi-talajkarok-muvelesi-megoldasok - Fotó: Dr. Bottlik L.)

2.2.1. A fenntartható talajművelés kialakulása

Az úrbérrendezés időszakának (1767-1780) talajművelési szokásait vizsgálva TAKÁCS (1987) megállapította, hogy elterjedt szokás volt a tavasziak alá egyszer szántani,

míg ősziek alá kétszer forgatták meg a földet, kivételt képzett ez alól a tiszta őszi búza, amely alá háromszor szántottak. A tanulmány megemlíti, hogy Nyíregyháza lakói például azért nem vetettek őszi búzát, mert ők csak egyszer szoktak szántani, emiatt azt tartották, hogy a búza náluk nem teremne meg. A sokszántásos művelés elterjedése a hagyományos talajhasználat kezdetét jelentette, amelyet kezdetben még némileg korszerűnek minősült, de később egyre inkább a talaj szerkezeti leromlásához vezetett (BIRKÁS 2001). Az 1800-as évek végétől a fejlődés akadályává vált az évszázadokon át rögzült művelési szokások többsége. Ezért azok a szerzők, akik a korabeli módszereknél jobb eljárásokat dolgoztak ki, ténylegesen csak napjainkban kaptak méltó elismerést (JOLÁNKAI 2017).

A sokszántásos rendszer helyét fokozatosan átvette a sokmenetes rendszer, amely sajnos az 1960-as évekig uralkodó szemlélet maradt a hazai talajművelési gyakorlatban. Bár Cserháti és tanítványai már az 1800-as évek végétől javasolták az okszerű művelés szemlélet alkalmazását a talaj védelme érdekében, erőfeszítéseik azonban a többszöri szántásba vetett erős bizalom miatt nem jártak eredménnyel (BIRKÁS et al. 2018). A hagyományos talajhasználatra jellemző a mélységet és a módot tekintve többnyire sablonos középmély és forgatásos művelés. A szükségesnél több menettel alacsony hatékonyságú eszközökkel, nagyobb idő és költség árán igyekeztek a termesztett növény igényeinek megfelelő talajállapotot kialakítani esetleges növényvédelem mellett (BIRKÁS 2006 a).

Az okszerű szántásnélküli művelés első eredményei (1909-1936) Baross és Manninger munkásságához fűződik, míg Gyárfás kárenyhítésre irányuló törekvése inkább a szárazság hatásait igyekezett kezelni. Az akkori idők kedvezőtlen gazdasági környezete miatt visszaesett a művelési kultúra és a talajok állapotának javítási lehetősége ismételten szertefoszlott. Elsőként Kemenesy írta le 1964-ben a biológiai talajművélés lehetőségét és a talaj beéredett állapotban tartásának fontosságát (BIRKÁS et al. 2017, 2018).

Külföldi mintáknak köszönhetően az 1970-es évek közepén hazánkban is megjelent egy rövid időre a kímélés és takarékosság szempontjait szem előtt tartó talajművelési szemlélet, és a hozzájuk kapcsolódó értékelési szempontok a kutatásokban is (BIRKÁS et al. 2017; BOTTLIK et al. 2014). Észak-Amerikában és Európában a kímélő megoldások közül az 1960-as években indult a „minimum tillage” esetében a költségcsökkentési szempontoknak elsődleges szerepe volt, míg a talajvédelmi célok elhanyagolhatók voltak. Hazánkban pedig a „minimum tillage” egyet jelentett az egyoldalúan a költségekre figyelő gazdálkodással (BIRKÁS et al. 2018).

A modern talajhasználati módok változatossága (integrált, modern extenzív, modern intenzív) a környezetvédelmi és termesztési célokat szem előtt tartó fenntartó művelési

rendszerek alkalmazását biztosítja (*1. táblázat*). Jövőben a fenntartó művelés a környezetre, egyúttal a növénytermesztés biztonságára gyakorolt, tartósan előnyös hatásaival a modern talajhasználat nélkülözhetetlen elemévé válik (BIRKÁS 2001).

1. táblázat: A talajhasználat és a talajművelés fejlődése Magyarországon. (Forrás: Birkás, M. 2001 - A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése.)

Talajhasználati módok	A művelést befolyásolja	A talajművelés fejlődésének korszakai
1000-1860: **Korai extenzív**	gép- és szakismeret hiány (-)	1. **Kezdeti** (1000-1600)
	a növénytermesztés növekvő igényei (+)	2. A **belterjes gazdálkodásra áttérés** (1600-1800)
1860-1960: **Hagyományos**	a talajszerkezet romlás (-)	3. **A sokszántásos művelés** (1750-1900)
	a talajhoz alkalmazkodás (+)	4. Az **okszerű művelés** (1860-1930)
	időjárás- és vonóerő függés (-) javuló talajállapot (+)	5. A **hagyományos művelés** (1900-1988) 5.1 **Klasszikus**, igaerőre alapozott (1900-1960) 5.2 **Átmeneti**, részlegesen gépesített (1920-1970)
1960-1980: **Korai intenzív**	javuló gépesítettség (+) a mechanikai hatások túlbecsülése	5.3. **Iparszerű** gépesített (1975-1988)
1980-: **Integrált** **Modern intenzív**	a takarékosság és a talajvédelem összhangja (+)	6. A **takarékos és kímélő** művelés (1975-1988)
1988-2000: **Egyidejűleg:** **Korai extenzív** **Hagyományos** **Korai intenzív**	ökonómiai kényszer (-) hiányos gépválaszték (-) romló talajállapot (-)	7. Az **alkalmazkodó művelés** (1988-) 7.1 A **hanyatlás** szakasza (1988-2000)
2000-: Egyidejűleg: **Modern intenzív** **Modern extenzív** **Integrált**	a talaj- és környezetvédelem szükségessége	7.2 **Átmeneti** szakasz (2000-)
?2010-: Egyidejűleg **Integrált** **Modern extenzív** **Modern intenzív**	a kedvező talajállapot kialakításának és fenntartásának igénye	7.3 **Talaj- és környezetvédelem** szakasza (?2010-)

(+) = kedvező befolyás; (-) = kedvezőtlen hatás

2.2.2. A felszíntakarás talaj- és klímavédelemi összefüggései

A kármegelőzés feladata a rögösödés, porosodás és a kiszáradás megelőzése, ezért a felszíntakarásnak kiemelt szerep jut a kímélő talajművelésben. A nedvesség megőrzése, a szervesanyag megóvása, a talaj kellően lazult állapotban tartása, az árnyékos és nyirkos talajfelszín biztosításával támogatott aktív földigilisztatevékenység mind elengedhetetlen feltételei a morzsaépülésnek ezen keresztül a kedvező talajállapot fenntartásának (BOTTLIK et al. 2012).

Talajnedvesség megőrzése. QU és FENG (2020) szerint a szalmás talajtakarás csökkenti az evapotranszpirációt és növeli a talaj nedvességtartalmát. SINGH et al. (2004) az öntözés és a talajtakarás talajnedvességre együttesen gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy a nem öntözött mulcsozatlan parcella nedvességtartalma volt a legalacsonyabb az egész tenyészidőszak során. Ellenben a nedvesség veszteség mértéke a nem takart korai öntözéses kezelés esetében volt a legnagyobb (291 mm), amelyet a szintén takaratlan késői öntözés követett 285 mm-es értékkel. A két öntözéses kezeléshez képest a nem öntözött és nem takart parcella kevesebb nedvességet veszített (272 mm). A legkevesebb nedvességet (241 mm) az öntözetlen, mulcsozott parcella veszített.

A talajhőmérséklet szabályozása. A talajhőmérséklet alakulását alapvetően befolyásolja a talajhasználat módja, a művelés mélysége az összes pórustérfogat, a felszín borítottsága és a beesési szög. A mérés idejétől függetlenül a direktvetésben voltak a talajhőmérsékleti értékek a legalacsonyabbak, amely a talajfelszín borítottságával és az ebből adódó kisebb párolgással volt összefüggésben (GYURICZA 2001.a). WANG et al. (2009) a talaj hőmérsékletét különböző takaróanyagok alkalmazásával vizsgálták. A polietilén talajtakaró alatt magasabb volt a talaj hőmérséklet, amely a bokrosodási folyamat korábbi megkezdését eredményezte az őszi búzában (*Triticum aestivum* L.). A szalma takarás tavasszal csökkentette a talaj hőmérsékletét, így késleltetve az állomány korai fejlődését a nem takart kezeléshez képest. A csökkentett talajművelés ugyancsak késleltette az állomány fejlődését a hagyományos művelési eljárásokhoz képest. A korábban kezdődő és hosszabb ideig elnyúló bokrosodási folyamat kalászonként magasabb szemszámot eredményezett.

Talajminőség javítása. A szerves talajtakarás megemeli a szervesanyag tartalmat és javítja az aggregátumok stabilitását, azonban a hidrológiai tulajdonságokban bekövetkező változások lassabban mennek végbe, mint a kémiai változások (PAVLU et al. 2021). AKHTAR et al. (2019) hároméves kísérleti időszakban vizsgálták a szalmatakarás és a nitrogén műtrágyázás együttes hatását a talaj fizikai és kémiai jellemzőire. Kísérleteikben a

kezeléseknek köszönhetően a talajban rendelkezésre álló nitrogén mennyisége 28%-kal, a foszforé 45%-kal és a káliumé pedig 55%-kal növekedett. Megállapították, hogy a kezelt parcellák összes széntartalma 1,2 – 2,9-szerese volt a kontrolhoz képest. A vizsgált időszakban a talajállapot javulása növelte a terméseket. A tápanyagtartalom kímélése érdekében a száraz szalmával történő felszíntakarás bizonyult eredményes eljárásnak. YASAR KORKANC és SAHIN (2021) szerint a nitrogén megóvása szempontjából 4 t/ha, míg a foszfor esetében 2 t/ha talajtakaró mennyiség jelentheti a leghatékonyabb kezelést. JOURGHOLAMI et al. (2021) kísérleteikkel igazolták, hogy a talajtakarás következtében csökkent a talaj térfogattömege és penetrációs ellenállása. A makro- és összporozitás értékek, illetve az aggregátumok stabilitása szoros összefüggésben álltak a szerves talajtakaró mennyiségével. Az alkalmazott talajtakarás mennyiségének függvényében javultak a talajok fizikai, kémiai, biológiai és mikrobiológiai tulajdonságai, de összehasonlításban nem érték el a bolygatatlan területek értékeit.

GABRIEL et al. (2021) külön kiemelik az árpaszalma kedvező tulajdonságát, amelynek szakszerű alkalmazása mellett a talaj felső rétegeinek penetrációs ellenállása 60%-kal csökkent. Tanulmányukban megemlítik, hogy a talaj penetrométeres ellenállása szoros összefüggésben (R^2 = 0,65) áll a felszín nedvességtartalmával. A felszíntakarás csökkentett talajműveléssel együtt alkalmazva javította a talaj felszíni viszonyait és folyamatosan csökkentette a kéregképződés kockázatát.

A talajélet élénkülése. A jó talajszerkezet magas mikrobiológiai aktivitással jár (CUI - HOLDEN 2015). Évszázadok során a növénytermesztési és a talajművelési gyakorlat, emellett a gyakran rosszul időzített talajművelési beavatkozások nagy száma negatív hatással volt a talaj állapotára és a biológiai aktivitására. Mára a talaj mikrobiológiai tevékenységével foglalkozó kutatások feltárták azok a körülményeket, amelyek segítségével beazonosítható a különböző művelési eljárások előnyös vagy káros hatása a talajban élő szervezetekre (BIRKÁS et al. 2011).

FU et al. (2019) kilencéves tartamkísérletben vizsgálták, hogyan hatnak a szerves (szalma) és műanyag takarók a talajmikrobák közösségeire, valamint a talajok szén- és nitrogéntartalmára. Arról számoltak be, hogy a műanyag takarás csökkentette az előforduló baktérium fajok számát és mennyiségét, amíg a szalma takarás mellett növekedett a gombák és baktériumok előfordulása és a talajban előforduló nitrogénmennyiség. A baktériumok sokfélesége korrelált a talajban található szén- és nitrogén mennyiségével, a gombák aránya viszont a potenciális nitrogén mineralizációjával és mikrobiális biomasszával volt összefüggésben. Bár a műanyag talajtakaró esetében is növekedett a gombák sokfélesége a nem mulcsozott területhez képest, viszont a szalma mulcsozás hatékonyabb volt a talaj mikrobiális

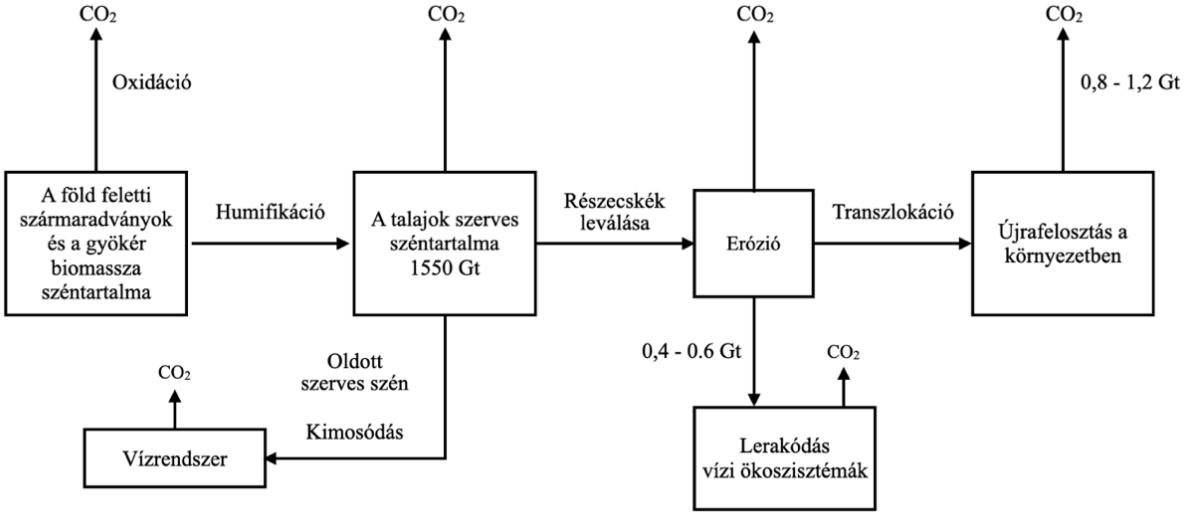
sokféleségének és bőségnek fenntartásában, valamint a talaj szén- és nitrogén-tartalmának növelésében. LI et al. (2021) igazolták, hogy a szalmatakarás átalakította a baktériumközösség összetételét az *Acidobaterium* és *Bacteroidetes* törzsek javára, így befolyásolva a szerves szén forgalmát a talajban. Igazolták továbbá, hogy a szerves széntartalom bizonyos alkotóinak forgalma szorosan kapcsolódik konkrét baktériumtörzsekhez. CHEN et al. (2021) szerint a szerves talajtakaró alkalmazása mellett a Gram-negatív baktériumok és gombák megnövekedett száma a fokozott biológiai aktivitásra utal. A domináns baktérium és gomba törzsek relatív bősége korrelált a kálium és nitrogén tartalommal, továbbá a megnövekedett terméshozammal (HAO et al. 2021).

Az éghajlati szélsőségek hatással vannak a talaj biotikus aktivitására, amelyek enzimeken keresztül részt vesznek a szerves szén és a tápanyagok szárazföldi ökoszisztémán belüli áramlásának szabályozásában. A gyakoribb aszályok és a csapadék változékonysága gátolhatja a bomlási folyamatokat, megváltoztatva ezzel a CO_2 körforgalmat és a talajminőséget (WALTER et al. 2013). A mikrobák által termelt extracelluláris enzimek a szerves anyagok lebontásának és a tápanyagok mineralizációjának kulcsfontosságú szereplői (BURNS és DICK 2002). STEVNBAK et al. (2012) megfigyelései szerint aszályos időszakban főleg a gombák elterjedése volt domináns, mivel száraz időszakokban a cellulózbontó baktériumok mikrobiális biomasszája lecsökkent. Ugyanakkor SIEBERT et al. (2019) arról számoltak be, hogy az aszály csökkentette a talajban élő gerinctelenek táplálkozási aktivitását és zavartabb fonalféreg-közösséghez vezetett, míg a talaj mikrobiális aktivitását és a biomasszát nem befolyásolta jelentősen. A különböző válaszokból a kutatók arra következtettek, hogy a talaj életközösségének tagjai nagymértékben különböznek az éghajlatváltozással szembeni sebezhetőségükben

A szén és a szerves anyagok védelme. A mélyebb talajrétegekben a szerves széntartalmat elsősorban a földhasználattal kapcsolatos tényezők befolyásolják (LI et al. 2021). CRYSTAL-ORNELAS et al. (2021) szerint a fentartható gazdálkodási gyakorlatok alkalmazásával a mélyebb rétegek szerves széntartalmában átlagosan 18%, a mikrobiális biomassza szerves széntartalomban pedig 30% növekedés érhető el.

A talajok globális széntartalma 2500 gigatonna (Gt), amelyből körülbelül 1550 Gt szerves szén és 950 Gt szervetlen szén. A talajok felső 1 m-es rétege tartalmazza a szerves szenet, amelynek mértéke változó (*4. ábra*). Száraz területeken előforduló 30 t/ha értéktől a 800 t/ha értékig változhat, ez utóbbi főleg a hideg területek organikus talajaira jellemző. A korábban bolygatatlan területek művelésbe vonásával mérsékelt égövön a talaj szerves széntartalmának 60%-át és trópusi területeken akár 75%-át elveszítheti. Az elveszített szerves szén jellemzően

a légkörbe kerül. A hagyományos talajművelésről a no-till művelésre való áttérésre 30-35 kg/ha/év szénkibocsátás csökkenés érhető el (LAL 2004).



4. ábra: A talaj szerves szén dinamikáját befolyásoló folyamatok
(Forrás: LAL, R. 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security.)

ZHANG et al. (2017) arról számoltak be, hogy a talajtakarás és műtrágyakezelés következtében megnőtt a talaj nedvességtartalma (23%), valamint 8%-kal csökkent a talaj átlaghőmérséklete a 0-20 cm-es rétegben, ezáltal kedvezően befolyásolta a talajban lejátszódó enzimfolyamatokat, javította a tápanyagok rendelkezésre állását, valamint növelte a talaj humusztartalmát. A tél végi olvadást követően azt tapasztalták, hogy azoknak a parcellának volt a legnagyobb a szerves szén vesztesége, amelyet sem hó, sem pedig mulcs nem borított.

DU et al. (2015); GARCIA-FRANCO et al. (2015) tapasztalataik szerint csökkentett talajműveléshez képest a felső 5 cm-es rétegben zöldtrágya alkalmazása mellett 14%-kal nőtt a talaj szerves széntartalma. Az aggregátumok szerkezete a mélyebb rétegekben művelés hatására kevésbé sérült szervesanyag bevitel hatására. Ezen felül elősegítette új aggregátumok kialakulását, amelyek fizikai és kémiai védelmet nyújtottak a kialakuló szénvegyületeknek. A mechanizmus leginkább a stabil mikroaggregátumok ásványi frakciójához kapcsolódó szerves szénrészecskék és a makroaggregátumokban elzárt szénkészleten keresztül fejtette ki hatását, amelynek eredményeként a termőréteg összes szerves széntartalma 30%-kal növekedett.

Az eróziós és deflációs károk csökkentése. A környezetkímélő mezőgazdaság művelési rendszere kerüli a szükségtelen talajbolygatást, különösen a no-till művelési rendszer esetében, ahol a tarlómaradványok a felszínen maradnak. LAL (2004) szerint megfelelő vetésforgó alkalmazásával hatékonyan csökkenthető a talajerózió kockázata, valamint az energiafelhasználás, ezen felül javítható a talajminőség és növelhető a termésbiztonság. A no-

till rendszer esetében a talaj felső rétegének porozitása nagyobb lehet a tarlómaradvány megőrzése esetén, amelyet a makrofauna megnövekedett aktivitása és a szerves anyagok felhalmozódása kísér. A no-till rendszer más természetközpontú gyakorlatokkal együttesen alkalmazva a szél- és vízerózió csökkentésével eredményesen megőrzi a talaj erőforrásait (FAN et al. 2020). Sajátos észlelés szerint az álló és fekvő kukoricaszár segít megelőzni a porszennyezést 16 m/s szélsebesség alatt (LIN et al. 2021).

RAHMA et al. (2019) tanulmánya alapján a talajtakarás alkalmazása eredményesen csökkentette a víz-és talaj veszteséget a nem fedett kontrollhoz képest. A talaj- és vízveszteség csökkentéséhez szükséges talajtakaró szint azonban a talaj típusától, valamint a csapadék mennyiségétől és a lejtési szögtől függött. Talajtakarás optimális mértéke attól is függ, hogy mi az elsődleges cél a talaj vízveszteségének elkerülése, vagy a talajszerkezet romlásának csökkentése. ALLIAUME et al. (2014) számoltak be arról, hogy finom szerkezetű agyagos talajon mulcshagyás mellett a talajveszteség mértéke 98%-kal csökkent, továbbá 50%-kal csökkent a vízelfolyás mértéke.

Gyomszabályozás Gyakran megfigyelhető a hozamok emelkedése korlátozott vízellátottságú körülmények között kímélő művelés alkalmazásával, ezért a szemlélet egyre szélesebb körben fogadják el a termelők. Ugyanakkor a legnagyobb kihívásnak a gyomszabályozás kérdését látják (FAROOQ et al. 2011). CRAMER et al. (1995) megállapították, hogy az előző évi takarónövényzet mulcsra vágásával végzett talajtakarás vastag talajtakaró anyagot képzett, amely megvédte a területet a gyomosodástól, ugyanakkor a közvetlenül végzett paradicsom palántázást csak kis mértékben zavarta meg. TEASDALE (1993) szerint a védőréteg egyrészt mérsékelte a gyomosság kialakulását azáltal, hogy fényszegény környezetet teremtett a talaj felszínén, továbbá a talajéletet is serkentette a talajnedvesség megőrzésén és a hőgazdálkodás szabályozásán keresztül.

BÜCHI et al. (2020) tíz eltérő növényfajt elővetemény ként termesztve, majd ezeket követően no-tillage és minimum tillage talajművelési rendszer keretében termesztett kukoricában vizsgálták az egyes fajok gyomelnyomó képességeit. Az itt kapott eredményeket összehasonlították a nem takart parcellákkal. A talajtakarás gyomelnyomó hatása a kukorica korai (2-4 leveles) állapotában érvényesült leginkább a nem takart területekhez képest. A leghatékonyabb takarónövényfajok évről évre változtak, de a négermag (*Guizotia abyssinica,* (L.f.) Cass.), a napraforgó (*Helianthus annuus,* L.), veteményborsó (*Pisum sativum,* L.) és a facélia (*Phacelia tanacetifolia,* Benth.) parcellák adták a legjobb eredményt az összesítésekben. Eredményeik azt mutatják, hogy a takarónövények kukorica előtti termesztése ígéretes módszer lehet a gyomok leküzdésében.

Az 1985 és 2016 között közzétett lektorált cikkek elemzéséből készült adatbázis meglepő eredménnyel szolgált a növényvédő szerek terhelésére vonatkozóan a no-tillage és a szántásos művelés összehasonlításában. No-tillage területeken ugyanis nagyobb koncentrációban mutattak ki atrazin, cianazin, dikamba, simazin és egyéb különösen nagy oldhatóságú gyomírtószer maradványokat, mint a hagyományos szántásos területekről. A gazdálkodás jellege tehát hatással van a talaj azon tulajdonságaira, amelyek szabályozzák a növényvédő szerek megtartását és környezetben való mobilitását. Ezért a mezőgazdasági termelők peszticid választásához szükséges a kutatásokon alapuló ajánlások elkészítése (ELIAS et al. 2018).

Kártevők és kórokozók elleni védekezés. Az előző évi növényi maradványokkal végzett felszíntakarás lehetővé teszi sok kórokozónak az életben maradását, áttelelését. A csökkentett talajművelés több kedvező mechanizmust kínál a kórokozóknak mivel menedéket jelenthetnek. Előnyös lehet számukra továbbá az alacsonyabb talajhőmérséklet, a magasabb nedvességtartalom, és a bolygatatlan állapot. Ezért csökkentett talajművelés esetén feltétlenül szükséges a megfelelő vetésváltás (BOCKTUS és SHROYER 1998). A mezőgazdasági művelés alatt álló talajokban a gombák adják a mikrobiális biomassza több mint 50%-át. MORENO et al. (2021) hívták fel a figyelmet arra, hogy a gombaközösség bőségére és összetételére a felszíntakarás, valamint a gazdálkodási gyakorlat módja ugyan jelentős hatást gyakorol, azonban a legmeghatározóbb tényező mégis az év és az évszakhatás.

A környezetkímélő talajművelés során tapasztalható a kártevők gyakoribb előfordulása és a gyengébb vetési minőség. Ezeket a negatív hatásokat azonban a talajok kedvezőbb vízgazdálkodása képes ellensúlyozni. Az agyag és homokos talajokon száraz körülmények között a talajvédő műveléssel hosszú távon jobb eredmények érhetőek el, ezért életképes alternatívát jelentenek az európai mezőgazdaság számára (VAN DEN PUTTE et al. 2010). Adott esetben ígéretesek lehetnek a biológiai védekezés módszerei, azonban a gazdasági vagy környezetvédelmi okokból negligált védekezés újabb és újabb fajok gradációjának ad tápot (JOLÁNKAI 2001).

PEREZ-BRANDÁN et al. (2012) megállapították, hogy direktvetéses kezelésben a szóját nem érintette a hamuszürke szárkorhadás (*Macrophomina phaseolina*), míg a hagyományos talajművelés esetében az állomány 54%-a fertőződött meg a gombabetegség következtében. A különbségek korreláltak a direktvetésben tapasztalt magasabb mikrobiális biomasszával és aktivitással. Ezért a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a biológiai komponensnek kulcsfontosságú szerepe volt a talajban terjedő kórokozó elnyomásában. KADZIENE et al. (2020) megállapították, hogy a főnövény előtt termesztett és közvetlenül

azok vetése előtt betakarított takarónövények egyrészt jelentősen csökkentették a területek gyomosodását, másrészt a gombás fertőzések terjedését is lassították. A fehér mustár (*Sinapis alba* L.) elővetemény a tavaszi árpa állományban a *Fusarium graminearum*, míg a fehér here elővetemény (*Trifolium repens* L.) a tavaszi búzában a *Fusarium culmorum* terjedését lassította eredményesen.

2.3. A talajtömörödés kialakulása, következményei és a védekezés lehetőségei

A talajtömörödés mesterséges kiváltó oka a modern mezőgazdaságban a nehéz mezőgazdasági gépek használata, amelynek következtében HAMZA és ANDERSON (2005) becslései szerint 68 millió hektár termőterület vált tömörödötté világszerte. VÁRALLYAY (1996) szerint hazánk talajainak 34,8 %-a érzékeny a degradációra és a tömörödésre, 28,3 % mérsékelten érzékeny, 23%-a gyengén, 13,9%-a pedig nem érzékeny. BIRKÁS (2000) figyelembe vette a művelési hiba eredetű belvizes területek kiterjedését, ezért a talajok érzékenységét a szántóterület felére becsülte.

A tömörödött talajra 1,5 g/cm^3, vagy ennél nagyobb térfogattömeg-érték jellemző, a pórustérfogat pedig ennek megfelelően 40%, vagy annál kisebb. A nem művelt vagy tömörített talaj behatolási ellenállása 2,5-5,5 MPa értéket mutat (BIRKÁS 1993). A kedvező talajfelszíni fizikai körülmények, de tömörödött felszín alatti rétegek korlátozzák a növény gyökérzetének fejlődését, mivel tömörödés következtében jelentősen csökken a gyökérfejlődéshez rendelkezésre álló talaj mélység (GRZESIAK et al. 2013). Tömörödött talajban az anaerob fermentáló baktériumok a növényi gyökerekre káros toxinokat termelnek, miközben az aerob mikroflóra tevékenysége szünetel (BIRKÁS 1993). A talaj tömörödési hajlama függ a talaj szerkezettől, a talajnedvességtől, a talaj pH-tól, kationcsere kapacitástól a szervesanyag-tartalomtól (ASSOULINE et al. 1997).

2.3.1. A művelési eredetű talajtömörödés kialakulása

A talajtömörödés kockázatának megítélésekor (BIRKÁS 2006.b) szerint minimálisan hat tényezőt egyszerre kell figyelembe venni, amelyből kettő természeti eredetű (érzékeny talaj, sok csapadék) és négy a gazdálkodótól függ (a talaj- és géphasználat lehetetlenségei; a művelési és öntözési hibák), amelyek a kockázatot tovább növelik. Az arányok alapján felbecsülhető, hogy adott körülmények között várható-e a tömörödés kialakulása vagy nem. A becslést évente ajánlatos elvégezni a csapadékadatok alapján. BIRKÁS (1998) szerint a kedvezőtlen talajállapot okai sokfélék lehetnek, de zömük a szakszerűtlen művelésre vezethető vissza. A talajállapot hibák és kialakulásának oka:

- *Tömör záróréteg a mélyebb rétegekben (40, 50, 60 cm alatt):* Természetes vagy mesterséges eredetű lehet. Utóbbi esetében a mélyítő művelés többévi elhagyása, ugyanakkor a talaj rendszeres fizikai terhelése (nedves talajon járás, szállítás) miatt következik be.
- *Tömör záróréteg a rendszeresen művelt réteg alatt:* Ha a szántás mélysége a korábbi művelések során megegyezett, továbbá a szokásosnál mélyebb szántás vagy talajlazítás többévnyi elmaradása okozza.
- *16-22 cm-es rétegben található tömör réteg kialakulása:* nedves talajállapot mellett az alapművelés tárcsás elmunkálásakor jön létre. Ebben az esetben a mélyebb alapművelés hatékonysága teljesen lecsökken, és a gyökér fejlődéséhez csak a jelzett réteg marad élettérnek.
- *5-6-10 cm alatt lévő záróréteg:* Magágykészítés során jön létre, ha a talaj a művelhetőségi tartománynál nedvesebb.
- *Taposott sávok, forgók:* Mélyebb művelés szüneteltetése következtében elmarad a legtöbb fizikai terhelésnek kitett fordulósávok mélyebb megmunkálása.

SMITH és DICKSON (1990) fontos feladatnak jelölték meg a járművek súlyának csökkentését, minimalizálva ezzel a technológiai eredetű tömörödést. VOORHEES at al. (1978) megfigyelései szerint a traktorkerék tömörítő hatásának következtében a talaj térfogattömege 20%-kal nőtt, miközben a penetrációs ellenállása 400%-kal emelkedett. A talajtömörödés egyre nagyobb aggodalomra ad okot a mezőgazdasági berendezések növekvő tömege miatt. Ha a tengelyterhelés nem éri el az 5 tonnát, abban az esetben a tömörödés valószínűleg nem terjed 30 cm-nél mélyebbre. A 10 tonnát meghaladó tengelyterhelés 60 cm mélységig fejti ki tömörítő hatását és jelentős hozamcsökkenést eredményez. A mechanikai talajlazítás ebben az esetben már kevéssé hatékony, az ilyen mértékű terhelés miatt már egyszeri alkalommal is a terméshozam jelentős és tartós csökkenésével lehet számolni. VOORHEES (1986) szerint a talajtömörödés terméscsökkentő hatása a magas agyagtartalmú talajokon fordul elő leggyakrabban. Nagy talajnedvesség esetén a 10 tonnás tengelyterhelésű gépmozgás hatására 50 cm mélységig tömörödik a talaj, az ennél nehezebb tengelyterhelés hatására a tömörítés 100 cm mélységig is kiterjedhet. Ezek a hatások hosszan tartók vagy állandók, ezért lehetőleg elkerülendők (HAKANSSON és REEDER 1994).

A talaj olyan három komponensű rendszer, amely szilárd, folyékony és gázfázisokból áll. A három komponens egy összetett geometriában oszlik el, amely nagy szilárd-folyékony, folyékony-gáz és gáz-szilárd határfelületeket hoz létre. Hármas talajfázis-indexet (TSPI – three soil phase index) fejlesztettek ki ún. közepes szerkezetű talaj fizikai állapotának jellemzésére

szilárd, folyékony és gáz-halmazállapotú fázisok alapján, kihasználva a Cobb–Douglas (C–D) termelési funkcióban kifejezett csökkenő marginális termelékenység fogalmát. Az index TSPI = $[(X_s - C)\, X_l\, X_g]^N$. Ahol C és N egy adott talaj állandói, X a talajfázisok térfogati aránya, az S, L és G alsó indexek a szilárd, folyékony és gáz fázisokat jelölik. A TSPI szignifikáns összefüggést mutatott a kiválasztott talajtulajdonságokkal, például a térfogattömeggel, az oxigén diffúziós sebességével, a redoxpotenciállal és a szemterméssel. A TSPI alkalmazással lehetőség nyílik a kezelési gyakorlatok (talajművelés és/vagy talajtaposás) három fázisra gyakorolt hatásainak jellemzésére (WANG et al. 2015).

2.3.2. A talajtömörödés káros hatásai

HORN et al. (1995) szerint a talajon járás következtében bekövetkező talajtömörödés kedvezőtlen hatást gyakorol a talaj legfontosabb funkcióira, beleértve a vízáramlást, a légátjárhatóságot, a tápanyagok körforgását, a mező- és erdőgazdálkodási tevékenységet, valamint a talajélet körülményeit. A talajtömörödés fizikai visszacsatolások révén fokozza az elfolyást és növeli erózió és a defláció kockázatát. BRUSSAARD és VAN FASSEN (1994) számoltak be arról, hogy az intenzív talajművelés és a nehéz gépek forgalma károsítja a talajban élő organizmusok élőhelyét, ezáltal akadályozzák az ökológiai funkciójuk ellátását. Kiemelték, hogy a talaj élőlényeinek fontos szerepük van az optimális talajszerkezet kialakításában az aggregátumok képzése útján, továbbá nem elhanyagolható a jelentőségük a növényi fejlődésben, amelyet a tápanyagellátás és a kártevők, illetve kórokózók szabályozása révén fejtenek ki.

Termésdepresszió. A tömörödött talajon termesztett növények több stresszfaktornak vannak kitéve (COLOMBI és KELLER 2019). Ezért a műveletek időzítése rendkívül fontos, a korán elvégzett vetés jelentősen megnövelte a penetrációs ellenállást 27 cm mélységig, valamint erős negatív összefüggés volt kimutatható a terméshozam és a tömörödés között (OBOUR et al. 2018). Különféle tömörödési szintek mellett a gabonahozam 5–48%-os eltérést mutattak AHMAD et al. (2009) kísérleteiben. A no-tillage rendszer alkalmazása alacsonyabb terméshozamokkal járt, ugyanakkor száraz években ezzel a kezeléssel lehetett magasabb hozamokat elérni a talajban megőrzött víztartalék és kedvezőbb talajszerkezet révén (BOGUNOVIC et al. 2018). AHMAD et al. (2009b) szerint mélyszántással, szervestrágyával és gipsszel kezelt parcellákon eredményesen csökkenthető a tömörödés mértéke (12-15%) és javítható a porozitás (16-23%) értéke, ennek betudhatóan a gabonahozam akár 37%-kal növekedett a tömörödött kontrolhoz képest. Tartós talajtömörödés esetén azonban jelentős aszálykárral számolhatnak a termelők.

Amennyiben nincs vízmozgást gátló réteg, akkor a felszíni vízpangás tartalma rövid (*2. táblázat*). A tárcsatalp-tömörödés fölött sekély a vízbefogadó réteg, ezért a vízpangás tartama hosszabb, kihatása súlyosabb, mint az eketalp-tömörödésé (BIRKÁS és JOLÁNKAI 2008).

2. táblázat: Talajállapot-hiba jelenléte, a felszíni vízpangás és az aszálykár összefüggései (Forrás: Birkás és Jolánkai 2008: A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggése)

Talajtömörödés	**Felszíni vízpangás**	**Aszálykár-veszteség %**
Nincs	heves esők után, rövid ideig	< 5
A táblák taposott sávjain	nagyobb esők után, napokig	5-10
Az eketalp-tömörödés 25 cm alatt az egész táblán	a lazult réteg vízzel telítődése után, változó ideig	10-20
Tárcsatalp-tömörödés 15 cm alatt az egész táblán	a lazult réteg vízzel telítődése után, napokig	20-30
Eke/tárcsatalp tömörödés az egész táblán, taposási károkkal	a lazult réteg vízzel telítődése után napokig, a terhelt sávokon hosszú ideig	> 40

A gyökerek növekedésének akadályozása. VALENTINE et al. (2012) Skóciában 59 különböző mezőgazdasági területen végeztek méréseket. A vizsgálatok széles földrajzi elterjedést, talajtextúrák jelentős skáláját és változatos művelési gyakorlatokat öleltek fel. A vizsgálatok kiterjedtek a talajok vízgazdálkodási jellemzőire, térfogattömegére, penetrációs ellenállására és a kémiai paramétereire. Egyrészt azt tapasztalták, hogy a gyökér kiterjedése a tömörödött szántóföldi körülmények között jellemzően kevesebb volt a nem tömörödött talajokhoz képest. Másrészt a gyökérzet kiterjedése jellemzően a talaj fizikai és nem a kémiai tulajdonságaitól függött, ugyanis a gyökérzet talajba hatolása és a 60-300 μm átmérőjű talaj pórusok térfogata között tudtak pozitív összefüggést kimutatni. Megállapították továbbá, hogy gyökér hatolási arányának csökkenése következtében redukálódott a gyökérzet mennyisége, jelentősen korlátozva ezzel a növények növekedését.

A talaj légátjárhatóságnak romlása. A tömörödés következtében megváltozik a pórusok méret szerinti eloszlása, a makropórusok mennyisége lecsökken, miközben a kapilláris pórusok részaránya megnövekszik (SCHJONNING et al. 2015). Míg a természetes talajokban a szerkezet makroszkópikusan homogénnek írható le, addig a mechanikai hatásnak kitett talajokban kevésbé kedvező típusú aggregátumok jönnek létre. A külső behatások eredményeként a fizikai és kémiai folyamatok például a víz, az ionok és a gázok áramlása és

diffúziója késleltetetté válik vagy akár teljesen megváltozik. A megnövekedett térfogattömeg és penetrációs ellenállás révén csökken a talajok légátjárhatósága, amely gátolja gyökérfejlődést. A tömörödött talaj hozzájárul a globális légköri felmelegedéshez az ilyen talajokból származó megnövekedett CO_2, CH_4 és N_2O kibocsátás miatt. A talaj szerkezetének és funkcióinak antropogén változása hosszú ideig állandó marad és a leromlott talaj szerkezetének helyreállítására irányuló erőfeszítések gyakran kudarcot vallanak a túlzott lazítás, vagy a túl nedves talaj művelése következtében (HORN et al. 1995).

Tápanyagveszteség, a növények korlátozott víz- és tápanyagfelvétele. LIPIEC és STĘPNIEWSKI (1995) szerint a talaj nitrogénmérlegének tömörödés útján történő módosulása a következő folyamatok eredményeként következik be. (1) A talaj levegőzöttségének megváltozása, amely közvetlenül hozzájárul a denitrifikációs folyamatokhoz és a nitrogénveszteséghez a csökkenő nitrogén mineralizáció útján, valamint a hüvelyes növényekkel szimbiotikus nitrogén megkötés csökkenése révén. (2) A talajvíz mozgásának változása kihat a nitrogén transzportra és a kimosódásra. (3) A talajrészecskék elrendezésének megváltozása hatással van a gyökérkonfigurációra, a gyökér-talaj érintkezésre és az ion diffúzióra. BARZEGAR et al. (2006) szerint mivel a talajban a foszfor viszonylag mozdulatlan, ezért a foszfor felvétele többnyire összefügg a gyökérrendszer kiterjedésével. A tömörödés következtében növekedésében gátolt gyökérzet és a talaj alacsonyabb foszfor-hozzáférhetősége miatt csökkent a hajtások szárazanyag tömege. Különféle kísérletek eredményei alapján megállapítható, hogy az talajtömörödés mértékének növekedésével csökken a kálium felvétele. Laza szerkezetű homokos vályogtalajon végzett kísérletekben BARRACLOUGH és WEIR (1988) azt tapasztalták, hogy a 35 cm-es mélységben található eketalpréteg nem befolyásolta a gabonaszemek K-koncentrációját, ellenben a szárban csökkentett a K-koncentráció. Az aszály egyaránt csökkentette a tápanyag koncentrációt mind a szárban, mind a szemekben. A talajtömörödés korlátozza a növény számára az erőforrásokhoz való hozzáférést, különösen az altalaj vízkészletéhez, ezáltal csökken a termés mennyisége (COLOMBI et al. 2018).

Növekvő árvíz-, belvíz- aszályveszély, romló vízbefogadó képesség. ALAOUI et al. (2018) azt feltételezik, hogy Európában az elmúlt években gyakrabban előforduló vízelöntések egyik lehetséges oka a talajtömörödésre vezethető vissza. A talajtömörödés ugyanis befolyásolja egy adott terület vízgazdálkodását. Egyrészt a talajtömörödéssel érintett területek kiterjedését növeli, másrészt tovább súlyosbítja a nagy mennyiségű csapadék egyébként is káros hatásait a már leromlott területeken. Ezen felül amennyiben a tömörödés egybeesik a finom talajtextúrájú egyébként is alacsony beszivárgási képességű talajokkal, akkor ezen kedvezőtlen adottságok elősegítik a további degradációs folyamatokat.

Költségnövekedés. GRAVES et al. (2015) kiszámolták a talajromlás teljes gazdasági költségét Angliában és Walesben. A talajok leromlása ugyanis jelentős költségekkel jár mind a talajt közvetlen használók, mind az egész társadalom számára. Egy ökoszisztéma-szolgáltatási keretrendszert alkalmaztak annak értékelésére, hogy a degradáció hogyan befolyásolja a talajok képességét a végtermékek előállítása során. Megkülönböztették a helyszíni és a helyszínen kívüli költségeket, valamint mérték a közvetlen és a közvetett piaci hatásokat. A talajromlás számszerűsíthető költségeit éves szinten 0,9 és 1,4 milliárd angol font (£) között határozták meg. Az összköltség 47 %-a talaj szervesanyag- tartalmának elvesztésével, 39 %-a tömörödés egyéb hatásaival és 12%-a az erózióval állt összefüggésben. A költségek 80 százaléka a telephelyen kívül keletkezik, ezért gyakran nem foglalkoztatja azokat, akiknek tevékenységük következtében merülnek fel ezek a költségek. CHAMEN et al. (2015) szerint a tömörödés elkerülésével hektáronként 100 £-tal növelhető a gazdaság jövedelmezősége.

2.3.3. A kárcsökkentés és megelőzés lehetőségei

McPHEE et al. (2020) kifejtették, hogy a burgonya-betakarítógép össztömege nem haladhatja meg 6 tonnát annak érdekében, hogy a káros tömörödést elkerüljék. Ebben az esetben azonban a modellezett hozamviszonyok mellett a kombájnoknak 2,5-3 percenként volt szükségük szállítójárműre. A gyökér és gumósnövények betakarítása esetében ezért nem találtak olyan kis tömegű betakarítási lehetőséget, amely ne tömörítette volna káros mértékben a talajt. Megállapították, hogy az elfogadható termelékenység a gabona, valamint a gyökér és gumós zöldségek betakarítása esetén a közepes kapacitású (10-20 t összsúlyú) gépek használata és a jelentős tervezési és logisztikai kihívásokkal járó irányított forgalmú gazdálkodás (controlled traffic farming – CTF) elterjedése jelenti. Az altalaj tömörödés súlyos probléma elsősorban azért, mert a tartós hatások később nehezen korrigálhatók. Jobb elkerülni a talajtömörödését, mint a már tömörödött talajszerkezet kezelésével próbálkozni. Ezért ALAKUKKU et al. (2003) szerint szükség van olyan ajánlások kiadására, amelyek számszerűsítik a gépek talajra gyakorolt hatását különböző kerékterhelési és talajviszonyok között és ezek alapján meg kell hozni a tömörödést minimalizáló technikai döntéseket.

BIRKÁS és JOLÁNKAI (2008) szerint a legfontosabb feladat a talaj szerkezetének és szerves anyagának védelme, valamint a talajok vízbefogadó és vízmegtartó képességének javítása. A teendőket alábbiakban foglalták össze:

- Tömör rétegtől mentes állapot létrehozása vagy megtartása, amely a nedvességforgalmat nem akadályozza.
- Tömörödési kár esetén megfelelő mélységű átlazítás, vízvesztő felület létrehozása nélkül.

- Felszíntakarás tarlómaradványokkal, idényen kívül talaj- és nedvességvédelmi célból, a tenyészidőben a hőstressz mérséklése érdekében.
- Nedvesség-, szén- és szerkezetkímélő alapművelés alkalmazása bármely idényben és talajon.
- Kis vízvesztő felület kialakítása bármely idényben és talajon, kivéve az erózió veszélyeztette talajokat.
- A magágykészítés és vetés közötti idő lerövidítése, lehetőség szerint egymenetes mód alkalmazásával.

Az alkalmazkodó talajművelés legfontosabb jellemzői az energiatakarékosság és a talaj állapotához alkalmazkodás képessége. A modern talajművelési technika alkalmazása okán kevesebb a gépforgalom. Megfelelő tudásszinttel párosítva ez a rendszer alkalmas a talaj állapotának javítására. Ezzel szemben a túlságosan csökkentett talajművelés, vagy az alkalmas felszerelés és a szakértelem hiánya miatt gyakori a talajok fizikai és biológiai állapotának romlása (BIRKÁS et al. 2008). Hasonló megállapításra jutottak THORSØE és munkatársai (2019), akik a probléma megoldására rendszerszintű változásokat javasolnak, úgymint: kompetenciafejlesztést; a tömörítési kockázat megjelenítést; a gazdálkodási gyakorlat ösztönzőinek megváltoztatását és a technológiai innovációt.

2.4. Földigiliszták ökológiája

2.4.1. A földigiliszták előfordulása és csoportosítása

A Föld számos pontján találhatók földigiliszták a sivatagok és a sarkkörök kivételével, mégis érzékenyek számos környezeti tényezőre, mint például a pH, hőmérséklet, a talaj levegő viszonya, sótartalma (EDWARDS és BOHLEN 1995; LEE 1985). 1758 óta világszerte több, mint 6000 fajt írtak le, amelyből napjainkban 3000–3500 van érvényben (CSUZDI 2012). Hazánkban pedig 58-nál több földigiliszta faj és alfaj ismert (CSUZDI 2007). A földigiliszta fajok morfológiai, valamint viselkedésbeli jellemzőik eltérnek, ezért táplálkozási szokásaik, előfordulásuk, valamint testszínük alapján három ökológiai kategóriába sorolhatók.

Járatások - *Endogeic*:

Talajban élnek és táplálkoznak. Jellemzően vízszintes járatokat ásnak. Táplálkozás közben keverik a talajt. Színük leggyakrabban halvány szürke, rózsaszín, zöld vagy kék (5. *ábra*). A csoportból néhány faj nagyon mély járatot készít.

5. ábra: Allolobophora chlorotica
Forrás: Earthw.. watch (2019)
https://www.earthwormwatch.org/blogs/

Avarlakók - *Epigeic*:

A talajfelszínen korhadó növényi maradványok alatt élnek, az e a csoportba tartozó fajok általában nem ásnak járatokat, ritkán a talaj felszínéhez közel a talajban is megtalálhatók. Leggyakrabban élénkpirosak vagy barnák (6. *ábra*). Kis méretűek, jellemzően 2-5 cm hosszúak. A bomló növényi maradványokkal táplálkoznak.

6. ábra: Lumbricus terrestris
Forrás: Global invasive species database (GISD)
http://www.iucngisd.org/gisd/species.php

Ásványi talajlakók - *Anecic*:

A csoport tagjai nagy méretűek (7. *ábra*), mély függőleges járatokban élnek. Párzás és táplálkozás céljából éjszaka a felszínre jönnek. A táplálékukat a felszínről járataiba húzzák. Sok faj a járatai bejárata körül felszínből kiemelkedő ürülékből és növényi maradványokból álló részt képez (BOUCHÉ 1972, EARTHWORM SOCIETY OF BRITAN 2021).

7. ábra: Lumbricus castaneus
Forrás: The Earthworm Soc. of Britain (2019)
https://www.earthwormsoc.org.uk

2.4.2. A földigiliszták ökológiai igénye és szerepe

NIEMINEN et al. (2011) megállapították, hogy a talajtípus főként az a legfontosabb változó, amely meghatározza a földigiliszta sűrűségének eltéréseit. A legkedvezőbb életfeltételeket a közepesen durva talajokban találtak meg a földigiliszták, amelyben a szén nitrogén arány kölcsönhatása jelentős volt. A földrajzi eloszlásban megállapítható volt, hogy a vékony hótakaróval és erős faggyal rendelkező területeken kisebb a földigiliszta biomasszája, míg a mély hótakaróval és sekély faggyal rendelkező területek magasabb földigiliszta sűrűséggel rendelkeztek. A helyi változók közül a legmeghatározóbb a talajművelés intenzitása volt. A gyakori talajművelés olyan földigiliszta közösségeket hozott létre a mezőgazdasági művelés alatt álló területeken, amelyeket erősen uraltak az endogén fajok, míg a szomszédos peremterületen és a közeli legelőkön háromszoros földigiliszta biomasszát és kétszeres fajgazdagságot mértek.

A földigiliszták, mint az ökoszisztéma mérnökei tevékenységükkel hatást gyakorolnak a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira; a rendelkezésre álló erőforrásokon keresztül befolyásolják a mikroorganizmusok és a növények életfeltételeit (JONES et al. 1994; JOUQUET et al. 2006). A földigiliszták tevékenysége fontos szerepet tölt be a kedvező talajállapot fenntartásában. Egyrészt az általuk létrehozott csatornák megkönnyítik a vízbeszivárgást a talajba, másrészt stabilizálják a vízálló talajaggregátumokat és elősegítik a biológiai aktivitást. Ezen felül a növényi maradványok talajba keverésével elősegítik a lebomlási folyamatokat és a szén megkötését, valamint serkentik a huminsav képződését (BOTTINELLI et al. 2010; LINDEN et al. 1994; LIU et al. 2021; ZHANG et al. 2011). A földigiliszták a talajaggregátumok képződését biológiai és fiziokémiai folyamatokon keresztül segítik elő (SHIPITALO - PROTZ 1989). Ezen folyamatok abban a pillanatban bekövetkeznek, amint a földigiliszták akár külsőleg, akár belsőleg érintkezésbe kerülnek a talajjal. Amikor a földigiliszták áthatolnak a talajon, útjukat tápanyagban gazdag nyálka és mikroorganizmusok keveréke követi, továbbá emésztett szerves anyagokat hagynak maguk után (BROWN et al. 2000).

A talajok jelentik a legnagyobb szárazföldi szerves széntartályt, amelynek központi szerepe van a fotoszintézis során megkötött CO_2 tárolásában vagy felszabadításában, ezáltal jelentős hatást gyakorolva a klímaváltozásra, valamint a fenntartható élelmiszertermelésre. A

talaj szén-dioxidmegkötő és kibocsátó szerepe nagyrészt a talajban élő szervezetektől függ, ezen belül is különösen a földigilisztáktól. Mivel a földigiliszták a táplálkozásunk során az ásványi talajt összekeverik a szervesanyagokkal, ezáltal jelentősen befolyásolják a megkötött szerves szén mennyiségét, továbbá váladékaik révén fontos szerepük van a makro- és mikroaggregátumok kialakulásában, fokozva ezzel a megkötött szerves szén mennyiségét (CHEN et al. 2021; FROUZ et al. 2014; LAVELLE et al. 1997; LUBBERS et al. 2017).

Tevékenységük eredményeként javítják a mikrobiális élet körülményeit, amelynek révén elősegítik az üvegházhatású vegyületek keletkezését és felszabadulását a talajból. A megkötési és felszabadítási folyamatok nettó szerves széntartalomra gyakorolt hatása jelenleg is vita tárgyát képezi a kutatók körében (GROFFMAN et al. 2015). A földigilisztákat Charles Darwin kora óta jóindulatú talajmérnököknek tartják, de számos közelmúltbeli kutatás összekapcsolja a földigiliszták tevékenységét a magasabb üvegházhatású gázok kibocsátásával, a talaj biológiai sokféleségének csökkenésével és a kártevőkkel szembeni gyengébb növényvédelemmel (LIU et al. 2019). FERLIAN et al. (2018) metaanalízis vizsgálatokkal igazolták a talaj gerincesek számának és változatosságának csökkenését gilisztainvázió következtében. A giliszta inváziós hatása a talaj mikroorganizmusaira a környezet kontextusaitól függ, jellemző negatív hatásként a mikrobiális közösségek homogenizálása jelentkezik.

A mezőgazdasági termelés azonban megváltoztatja a talaj biológiai összetételét és mind rövid, mind hosszú távon hatással van a talaj ökoszisztémára (HUNT és WALL 2002). Az egészséges talajállapot lehetővé teszi biológiai sokszínűséget, amely támogatja a tápanyagok körforgását, a lebomlási folyamatokat és szabályozza a környezetet. Az egészséges talaj fenntartásának előmozdítása lehetővé teszi hosszú távon a hozamok növelését (WARDLE et al. 2004). A talajban élő gerinctelenek befolyásolják a mikrobiális aktivitás és a terméshozam közti kapcsolatot, mivel a földalatti járatok elősegítik a biológiai sokféleség kialakulását (JERNIGAN et al. 2020). Több kutató kiemelte a járatásók közül a *L. terrestris* szerepét a biológiai körforgásban, mivel tevékenységükkel jelentősen hozzájárultak a felszínen lévő alom gyors eltávolításához (RAW 1962). MARHAN és SCHEU (2005) kísérletei igazolták, hogy a közönséges földigiliszta *(Lumbricus terrestris* L.*)* a szalmaalmot 65 napon belül eltávolította a felszínről, amely értékek megfelelnek az alomfogyasztási arányoknak, vagyis rozs és bükk alom keverék esetében 13,1-15,1 mg szárazanyag/nap, illetve 1 g zöldtömeg/nap. Hasonló fogyasztási arányokat mutatott ki *L. terrestris* esetében BINET és TREHEN (1992), akik kutatásaik során 13-15 mg/nap szárazanyag, illetve 1 mg/nap zöldtömeg fogyasztást mértek.

A földigiliszták hasznát a növények számára és a giliszták bőségének növelésére szolgáló technikákat BERTRAND et al. (2015) az alábbiakban foglalták össze:

- A földigiliszták általában javítják a talaj szerkezeti stabilitását, valamint az összporozitást.
- Módosítják a szerves anyagtartalmat és a tápanyagok körforgását azáltal, hogy a kiválasztott mész segítségével stabilizálják azokat. Rövid távon növelik a tápanyagok mineralizációját az aggregátumok fizikai védelme útján és fokozzák a mikrobiális aktivitást.
- A földigiliszták bősége és a terméseredmények kapcsolata változó, nem minden esetben pozitív az összefüggés. Ugyanakkor olyan hormonszerű anyagokat választanak ki, amelyek elősegítik a növények fejlődését és védelmet nyújtanak bizonyos kórokozókkal szemben.
- A direktvetés növeli a földigiliszták mennyiségét és fajtagazdagságát, de a csökkentett talajművelés jótékony hatása a jelenlévő fajoktól és a talajművelés intenzitásától függ.
- A szervesanyag-tartalom növekedése pozitívan hat a földigiliszták bőségére.
- A talajfelszínen táplálkozó földigiliszták vannak leginkább kitéve a peszticideknek és egyéb agrokémiai anyagoknak.

A mezőgazdaságban használt vegyszerek a földigilisztákra, mint nem célzott szervezetekre veszélyt jelenthetnek. Ezeknek a szereknek a alkalmazása megváltoztathatja a biológiai sokféleségüket, akadályozhatja a helyreállítást és károsíthatja az ökoszisztéma funkcióit (PELOSI et al. 2021).

2.4.3. A talajművelés hatása a földigilisztákra

Talajművelés módja. PELOSI et al. (2015) tartamkísérletük során 15 éven keresztül mérték a földigiliszták egyedszámát hagyományos, organikus és direktvetés művelés mellett. Az első ötéves periódusban a giliszták mennyisége általában nem különbözött a három termelési rendszerben, de néha magasabb volt a hagyományosan művelt talajban. A második ötéves periódusban már a földigiliszták egyedszáma megháromszorozódott az organikus és a direktvetéses rendszerekben, ugyanakkor a hagyományos művelésben a számuk csak némileg emelkedett. A 14. évet követően a mulcsrendszerek 1,5 és 2,3-szor több földigiliszta egyedet tartalmaztak, mint a hagyományos rendszerek.

ĐEKEMATI et al. (2019) direktvetéses kezelésben mérték a legmagasabb földigiliszta egyedszámot a vizsgált hatféle művelési mód közül. A legalacsonyabb földigiliszta

egyedszámot pedig a 28-30 cm mélységig történő hagyományos szántási kezelés során mutatták ki. A megfigyelést KLADIVKO et al. (1997) mérései is alátámasztották, mivel no-till művelési rendszerekben szignifikánsabb magasabb földigiliszta populációt mutattak ki, mint a hagyományos talajművelés keretein belül. ROARTY és SCHMIDT (2013) megjegyzik, hogy hiába magas a földigiliszta állomány a szántóföldi peremterületeken, az itt előforduló egyedek nem jelentenek forrást a faj ismételt betelepedéséhez, vagyis a populáció helyreállítása a művelési munkákat túlélő maradék állományra hárul.

A növényi maradványok eltávolítása csökkenti a földigiliszta biomasszát (KARLEN et al. 1994). Ezzel szemben a talaj szervesanyag tartalmának növelése kedvezően hat a földigiliszták bőségére, továbbá EDWARDS és LOFTY (1982) a legmagasabb előfordulási arányt azokban a parcellákban találták, ahol egyaránt kijuttatásra került szerves és szervetlen nitrogén egyaránt. Mivel a járatásó földigiliszták jellemzően a felszínen táplálkoznak, ezért a talaj felszínén hagyott apróra vágott búzaszalma jelentősen hozzájárult a földigiliszta populáció növekedéséhez (SIZMUR et al. 2017; STROUD et al. 2016). BIRKÁS et al. (2004) a földigilisztákat a talaj biológiai minőségének fontos mutatójaként azonosították, amelyek szerepet játszanak a talaj állapotának javításában. Szignifikánsan több földigilisztát mutattak ki kísérleteik során a bolygatatlan, nem tömörödött talajokban, amelyeket a kímélő módon műveltek meg és a tarlómaradványokat a felszínen hagyták. Hasonlóan erős pozitív korrelációt mutattak ki DOUBE et al. (1994) a tél elején jelen levő szerves talajtakaró mennyisége és földigiliszta biomassza mennyisége között.

A mechanikai művelés képes megváltoztatni a földigiliszták egyedszámot akár 2-9-szeres mértékben, valamint kihatással van sokféleségükre is (CHAN 2001). A szántás a legkedvezőtlenebb beavatkozás a földigiliszta állomány számára (ĐEKEMATI et al. 2020). A szántást követően rövid távon lecsökken a földigiliszták száma és csak következő tavaszra regenerálódik az állományuk (CRITTENDEN et al. 2014).

Talajművelés mélysége és intenzitása. Erős korreláció figyelhető meg a kifejlett egyedek száma és a földigiliszta járatok száma között. A talajművelés következtében sok járat megsemmisül, esetleg megrövidül, de ezek nem pusztulnak el teljes mértékben, így a bolygatás mértékétől függően képes az állomány regenerálódni (ROSA-MEDINA et al. 2010). A populáció teljes regenerációjához akár két évre is szükség lehet (LEES et al. 2016).

Talajművelés ideje. NUUTINEN (1992) szerint nem mutatható ki bizonyítható összefüggés a talajművelés ideje és a földigiliszták száma között. Ugyanakkor megállapította, hogy a szántás nélküli táblákon, valamint a tarlómaradványokat megőrző gyakorlat mellett, főként ott, ahol a műveleteket jellemzően a tavaszi időszakokban végezték el az őszi

mélyszántás helyett, azokon a parcellákon nagyobb földigiliszta szárazanyag volt mérhető. STROUD et al. (2016) megfigyelései szerint az őszi szántás kedvezőtlen hatásai szalma talajtakarással mérsékelhetők, mivel alkalmazásával jelentősen növekszik a *Lumbricus terrestris* egyedek száma.

Tápanyag-utánpótlás. GUAO et al. (2016) megfigyelték, hogy a tisztán szarvasmarha-trágyával kezelt termőtalajhoz kapcsolódott a legmagasabb földigiliszta előfordulás, valamint a legnagyobb szerves anyag és víztartalom is. Ugyanakkor a tisztán műtrágyával kezelt területen volt a legalacsonyabb a víz- és N-tartalom, valamint a földigiliszta aktivitás. POSTMA-BLAAUW et al. (2006) szerint a földigiliszták nitrogén mineralizációra gyakorolt hatása a jelen lévő fajok ökológiai jellemzőitől függ. Ugyanakkor DOMÍNGEZ et al. (2004) arról számoltak be, hogy a földigiliszták sem a szerves, sem a szervetlen nitrogén koncentrációját nem befolyásolták, de jelentősen megnövelték a csurgalékvíz mennyiségét. A csurgalékvízben a megnövelt földigiliszta populációjú parcellákon 2,5-szer nagyobb nitrogénelfolyás tapasztalható, mint a csökkentett sűrűségű állomány esetében.

Öntözés. MANONO és MOLLER (2015) szerint a kezeletlen helyekhez viszonyítva a csak szennyvízzel kezelt területek gilisztabősége 42%-kal, a csak öntözéssel kezelt területek gilisztabősége pedig 72%-kal volt magasabb. A maximális előfordulást a szennyvízkijuttatás és az öntözés együttes alkalmazása mellett tapasztalták, ekkor 180%-kal haladta meg a *Lumbricus rubellus* egyedszáma a kezeletlen területen mért értékeket.

Művelési eredetű talajtaposás. CAPOWIEZ et al. (2012) beszámolója szerint a taposás hatására rövid időn belül a földigiliszták száma és biomasszája jelentősen lecsökkent. Miközben a tömörödés következtében a talaj térfogattömege 1,46 g/cm^3-ről 1,57 g/cm^3-re növekedett, a földigiliszták száma és biomasszája 40-70 %-kal csökkent. A kezdeti káros hatások után a földigiliszta a populációk gyors helyreállását figyelték meg. A tömörített, illetve a nem tömörített sávok között ezekben az értékekben statisztikai eltérés három hónap elteltével már nem volt kimutatható.

Takarónövény. EUTENEUER et al. (2020) kísérletei bár igazolták a takarónövények kedvező hatásait a földigiliszták egyedszámára és szaporodására, ugyanakkor arról számoltak be, hogy szántóföldi körülmények között a talajnedvesség játszik elsődleges szerepet a földigiliszták elterjedésében. KORUCU és munkatársai (2018) arról számoltak be, hogy téli takarónövényként a rozs hosszú távon kedvezően hatott a földigiliszták előfordulására. Egyúttal megfigyelték a talajszerkezet javulását, amellyel összefüggésben csökkent a felszíni elfolyás és a tápanyagveszteség.

2.5. A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai

Mezőgazdasági szempontból a víznek központi szerepe van. Befolyásolja a növények anyagforgalmát, terméshozamát továbbá kihat a talaj biológiai aktivitására. A talajkímélő földművelési rendszerekkel összhangban az öntözés és az okszerű talajművelés jelenthet választ a klímaváltozás hatásaira és az ezzel együtt járó egyre szélsőségesebbé váló termelési viszonyok kezelésére. Hazánkban jelenleg a potenciális lehetőségekhez képest a mezőgazdasági vízfelhasználás alacsony kihasználtságot mutat. Amíg az 1970-es években közel 350.000 hektár öntözhető területtel rendelkeztünk, addig mára az öntözött terület nagysága 100.000 hektár körül alakul. A szántóföldi zöldségtermesztésben évjáratonként tapasztalható nagy termésátlag-ingadozások az öntözés hiányával magyarázhatók. A vízpótlástól csak akkor várhatunk kiemelt gazdasági eredményt, ha az öntözés okszerű talajműveléssel, megfelelő fajta kiválasztásával és kedvező tápanyagellátással párosul.

A talaj- és környezetvédelem központú talajművelés nem mellőzheti a származadványok mulcsként történő alkalmazását. Egészen a múlt század utolsó évtizedéig a művelőeszközök fejletlensége és a hiányos szakmai ismeret miatt általános követelmény volt a tarlómaradványoktól mentes felszín kialakítása, ráadásul az elvárt eredményt jellemzően sok művelettel érték el. Mára számos kutatási eredmény bizonyítja a mulcshagyó talajművelés előnyeit. A tanulmányok bemutatják a mulcshagyás kedvező hatásait a talaj hőmérsékletére, nedvességtartalmára, szervesanyag-tartalmára, szerkezetére és a talajéletre egyaránt. A korábbi évtizedekben hazánkban a gazdálkodók a csökkentett talajművelést csupán egy költségtakarékos eljárásnak tekintették. A csökkentett talajművelés ellenzői azzal érveltek, hogy a gyakorlat következtében nő a gyomosodás veszélye, valamint szármaradványokban a kártevők és kórokozók könnyebben telelnek át, ezért nehezebbé válik a következő növények védelme. A mulcshagyó művelés gyomkelesztő vagy gyomelnyomó hatását kihasználva, valamint körültekintő szerhasználat mellett a fenntartható talajművelési rendszerekben eredményesen lehet védekezni a gyomokkal szemben. A kártevők és kórokozók elleni védekezésben az egészséges talajökoszisztéma jelent segítséget a gazdálkodók részére.

A talajművelés módja kihat a globális klímaváltozásra. A fenntartható műveléssel a talajban raktározott üvegházhatású gázokból kevesebb kerül a légkörbe. Hagyományos művelésről áttérve a no-till művelési rendszerre jelentős mértékben csökken a légköri szénkibocsátás és ezzel egyidejűleg emelkedik a talajok humusztartalma.

A talajvédelem másik égető kérdése a talajtömörödés elkerülése. A talajtömörödés bekövetkezhet természetes folyamatok eredményeként, vagy művelésből és taposásból

eredően. Legtöbb szerző kiemeli a gépek egyre nagyobb tömegét, amely az elmúlt évtizedekben folyamatos növekedést mutatott. Felhívják egyrészt a figyelmet a gépek tömegének csökkentésére, továbbá a talaj megfelelő nedvességi állapota mellett elvégzett művelési munkák fontosságára. A gyakorlatban a csökkentett menetszám hatékony eszköz a tömörödés elkerülésére. Számos betakarítás optimalizálásához kapcsolódó tanulmány született, amelyek a szállítójárművek tömege és menetszáma közötti összefüggéseket vizsgálják a talajvédelem és gazdaságos munkavégzés szempontjából.

Közös megállapítása azoknak a tanulmányoknak, amelyek a talaj degradációból eredő károkat igyekezett felbecsülni, hogy egyrészt a terméscsökkenés következtében, másrészt a többlet energiafelhasználásból erednek a legnagyobb gazdasági veszteségek. A károk csökkentése vagy mérséklése többletköltségként jelentkezik egyrészt a gazdaságon belül, másrészt a gazdaságon kívül. A szerzők kiemelik, hogy a talaj szerkezetromlásából eredő károk a gazdaságtól távolabb is jelentkezhetnek például a felszín alatti vizekben elfolyó agrokémiai anyagok, vagy gyakoribb áradások formájában.

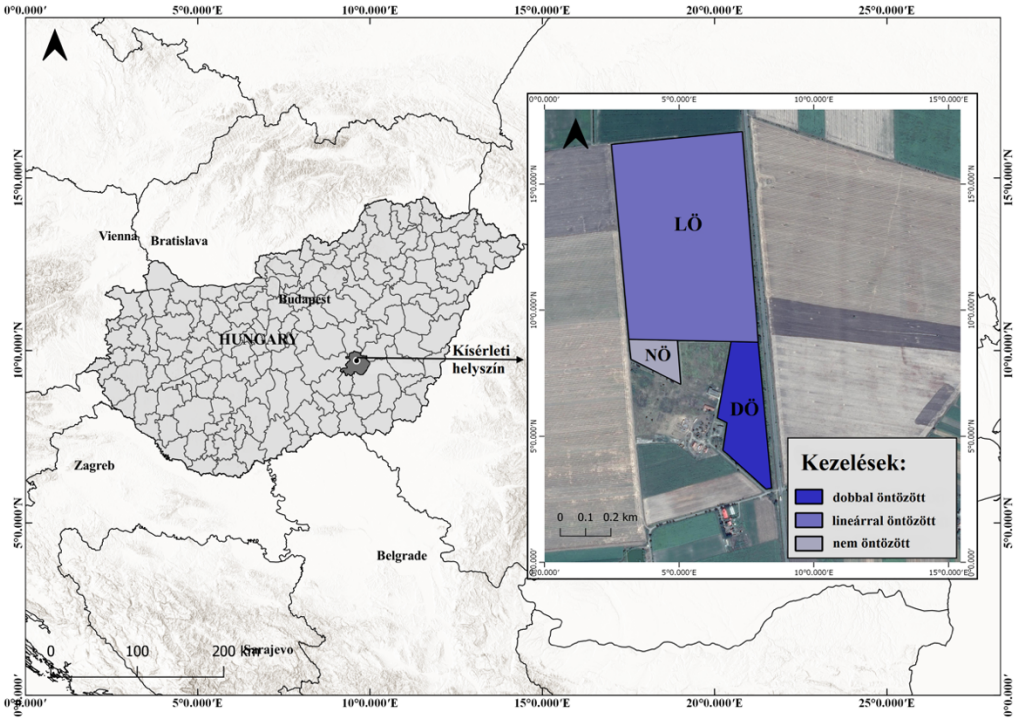
A földigilisztákat több szerző az egészséges talajállapot indikátoraként azonosította. Előfordulásuk szoros összefüggésben van a talaj bolygatásának mértékével, valamint a vegyszerek használatával. Ökológiai igényük és morfológiai jegyek alapján három csoportba sorolták a földigiliszta fajokat. A csoportok egymástól jól elkülöníthető módon táplálkoznak és szaporodnak, ezért ökológiai szerepük is eltérő. Az eltérő életmódjuk miatt az agrotechnikai beavatkozások is változó mértékben és módon érinti ezeket az élőlényeket, leginkább a felszínen élő járatokat nem készítő avarlakók vannak kitéve a kedvezőtlen hatásoknak. A művelt területek fajgazdagsága és egyedszáma lényegesen szegényesebb, mint a környező nem bolygatott peremterületeké. A talajművelés következtében lecsökkent földigiliszta populáció regenerációja azokra az egyedekre hárul, amelyek túlélték a beavatkozást, mivel a peremterületeken élő egyedek ebben a folyamatban nem vesznek részt. A mulcshagyás, a szükségtelen talajtaposás elkerülése, a talajnedvességet megőrző gazdálkodási gyakorlat mind segít megőrizni a földigiliszták életfeltételeit így a beavatkozásokat követő átmeneti állománycsökkenés után hamarabb regenerálódik az állomány. A talaj termékenységének fenntartásában szerepük továbbra is vitathatatlan, ezért olyan gazdálkodási gyakorlatot kell követni, amely biztosítja a túlélésüket és egyedszámuk gyarapodását.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérleti tábla bemutatása

3.1.1. Földrajzi elhelyezekedés és éghajlati jellemzők

A vizsgálatok területe 55,6926 hektár, a Kunszentmárton-Tiszaföldvár közlekedési út mellett, attól nyugatra, Kungyalu település belterületi határától légvonalban kb. 0,6-2,0 km-re nyugat-északnyugatra, Tiszaföldvártól légvonalban kb. 1,7-3,1 km-re délre található, amelynek GPS koordinátái: 46°54'47.2"É 20°15'46.7"K (*8. ábra*). A kísérleti terület talaja sík, kiegyenlített, genetikailag a mészlepedékes csernozjom típusba tartozik. Jó kultúrállapotú, fizikai félesége alapján a középkötött vályog kategóriába sorolható.



8. ábra: A kísérleti terület elhelyezkedése és az öntözési kezelések felosztása

Hazánk éghajlati körzetei közül a meleg-száraz tartományba esik a vizsgálati terület. Az éghajlata kontinentális, amelyre a forró aszályos nyarak és a hideg telek jellemzőek. Átlagos havi középhőmérsékleteket tekintve leghidegebb hónap a január -1,5 °C értékkel, míg a legmelegebb a július 22 °C értékkel. Az évi közepes hőingás magas, átlagosan 22,9 °C.

A Tisza-völgy sokéves átlagban a legkevesebb csapadékot kapja hazánkban. A nyári félév csapadékosabb, a legkevesebb csapadék január – március időszakban hullik, a legcsapadékosabb hónapok pedig valamivel több, mint kétszeres összeggel a május és július

közötti időszak. A csapadék maximuma 65-70 mm-es értékkel júniusban, minimuma januárban 25-30 mm-es értékkel jelentkezik. Átlagos éves csapadékmennyiség 520,7 mm.

A napfényes órák éves összege átlagosan 2037 óra, de évről évre változékonyságot mutat. A napfénytartam jellegzetes évi menetére jellemző, hogy a maximumát a nyári hónapokban éri el (havi 260 – 280 óra), a minimumot pedig november – január között (havi 50 -70 óra) (OMSZ). Összeségében megállapítható, hogy országon belül a legtöbb napfénytartam és a legkevesebb csapadék jellemző a vizsgált területre. A tenyészidőszak hőösszege meghaladja a 3300 °C-ot. A klimatikus vízmérleg a Közép-Tisza vidéken évi – 150 mm és -175 mm között alakul. A METBLUE adatai szerint Kunszentmárton térségében nem ritkán akár 200-225 mm éves vízhiány is előfordult.

3.1.2. Talajadottságok

A terület földrajzi elhelyezkedése alapján az Alföld nagytájba, a Közép - Tisza-vidék tájba a Tiszazug kistájba tartozik. A mélyebb fekvésű területeken főként réti csernozjomok, szolonyeces réti talajok és réti szolonyecek képződtek. A vizsgált területen a talajképző kőzet agyagos lösz, amelyen a réti csernozjom talaj szolonyeces altípusa található meg, a sóprofil miatt szikesedésre hajlamos. A talajfizikai paraméterek közül az Arany-féle kötöttségi szám 0-120 cm-es mélységig 44-48-ig alakult. Szerkezetét tekintve a vizsgált terület a vályog és agyagos vályog kategóriába sorolható. Ennek a talajtípusnak a kialakulására az időszakos nem jelentős felszíni, vagy időnként megemelkedő talajvízborítás jellemző.

A humuszos szint jellemzően barna, szürkés-barna; szerkezete szemcsésen morzsás. Az egyes genetikai szintek között az átmenet élesebb és rövidebb, mint a csernozjom talajoknál. A szelvényekben mészfelhalmozódás figyelhető meg mészfoltok vagy lepedékek formájában. Zömmel a C-szintben hidromorf bélyegek, ún. vasszeplők, illetve rozsdafoltok figyelhetők meg. A humusztartalom a felszín közelében magas, 3%- körül alakul. Lefelé haladva a szervesanyag tartalom hirtelen csökken, éles határvonalat alkotva, amely rendszerint egybeesik a szénsavas mész megjelenésének mélységével. A talajvíz általában 3-4 m körüli mélységben található, a talajvíz kritikus szintje 2,5 m mélységben feltételezhető. STEFANOVITS (1956) szerint amennyiben a talajvízszint 3-5 méter között változik, akkor a talajvíz hatása még kimutatható a talajképződési folyamatokban, amelyekre különösen a réti hatás jellemző.

3.1.3. Az alkalmazatott agrotechnikai műveletek

A kísérleti parcellán alkalmazott agrotechnikai műveletek időpontjait, felhasznált input anyagok mennyiségét és a terméseredményeket az *3. táblázat* tartalmazza.

3. táblázat: Alkalmazott agrotechnikai műveletek, termésátlagok, felhasznált input anyagok

Év / Növény	Agrotechnikai műveletek	Adag / Mélység	Dátum
2014/2015	Trágyázás (PK 10:28)	250 kg/ha	2014.10.28.
	Tárcsázás	12 cm	2014.10.29.
Szója	Magágykészítés		2015.04.05.
(SG Eider)	Vetés	370 000 db/ha	2015.04.18.
	Gyomirtás (Agrichem	2 l/ha	2015.04.18.
	Bentazon)		2015.05.10.
	Deszikkálás	2,5 l/ha	2015.08.25.
	(Reglone)		
	Betakarítás	2416 kg/ha	2015.09.17.
	Tarlóhántás		2015.09.20.
2015/2016	Trágya NPK5:10:30	230 kg/ha	2015.10.12.
	Altalajlazítás	30 cm	2015.10.20.
	Magágykészítés	12 cm	2016.04.14.
Kukorica	Vetés	66 000 db/ha	2016.04.20.
hibrid	Trágyázás (N 34)	100 kg/ha	2016.04.20.
(PR38A24)	Gyomirtás (Lumax)	4,5 l/ha	2016.04.30.
(PR38A24SC)	Sorközművelés		2016.05.16.
	Betakarítás	770 kg/ha	2016.09.01.
	Szárzúzás		2016.09.06.
2016/2017	Trágya NPK 5:10:30	250 kg/ha	2016.10.27.
	Szántás	30 cm	2016.11.03.
Kukorica	Magágykészítés	16 cm	2017.04.10.
(P9486)	Vetés	72 000 db/ha	2017.04.18.
	Trágyázás (N 34)	100 kg/ha	2017.04.18.
	Gyomirtás (Lumax)	4,5 l/ha	2017.05.04.
	Sorközművelés		2017.05.14.
	Betakarítás	9865 kg/ha	2017.10.09.
	Szárzúzás		2017.10.12.
2017/2018	Trágya NPK 5:10:30	250 kg/ha	2017.11.03.
	Tárcsázás	12 cm	2017.11.05.
Napraforgó	Talajlazítás	30 cm	2017.11.21.
(P64LE25)	Magágykészítés		2018.04.07.
	Vetés	50 000 db/ha	2018.04.20.
	Trágyázás (NP 15-25)	100 kg/ha	2018.04.20.
	Növényvédelem	45 g/ha	2018.04.29.
	(Express)		2018.09.17.
	Betakarítás	2960 kg/ha	2018.09.20.
	Szárzúzás		2018.09.28.

3.1.4. Öntözési protokol

A vizsgálati parcellába ékelődik az ún. „Kasza major” és a major körül elhelyezkedő legelő. A tábla szabálytalan alakja tette szükségessé egymástól elkülönülő öntözőtelepek kialakítását. A vizsgált időszak öntözési normáit az *4. táblázatban* foglaltam össze. A vízkijuttatás időpontjának és mennyiségének meghatározása a növények vízigénye, a talaj aktuális nedvességtartalma és a csapadékviszonyok figyelembevételével történt.

4. táblázat: Öntözési kezelések a vizsgált időszakban

Öntözési mód	**Öntözés időpontja**	**Öntözővíz mennyisége (mm)**	**Átnedvesedett talajréteg (cm)**	**Öntözés szélessége (m)**	**Vízhozam (l/min.)**
Lineár öntözés	2015. május 25.	20	40	260	2000
	2015. június 25.	20	35		
	2015. július 25.	20	30		
	2016. május 05.	15	35		
	2016. június 04.	20	35		
	2016. június 16.	20	40		
	2016. július 14.	20	40		
	2016. aug. 1.	20	35		
	2016 aug. 10.	20	30		
	2017. május 17.	15	40		
	2017. június 04.	15	40		
	2017. június 13.	20	35		
	2017. július 15.	20	30		
	2017. július 23.	20	30		
	2017. aug. 5.	20	30		
	2018. május 20.	15	40		
Öntöződobos öntözés	2015. május 13.	20	35	32	500
	2015. június 26.	20	35		
	2015. július 18.	20	25		
	2016. május 06.	20	35		
	2016. június 13.	20	35		
	2016. június 27.	20	40		
	2016. július 13.	20	45		
	2016. július 26.	20	35		
	2016. aug. 6.	20	35		
	2017. május 18.	20	40		
	2017. június 12.	20	40		
	2017. június 20.	20	35		
	2017. július 16.	20	35		
	2017. július 24.	20	30		
	2017. aug. 5.	20	35		
	2018. május 20.	15	45		

Az öntözővíz a csatorna mellett kialakított vízkivételi helytől talajba süllyesztett nyomóvezetéken keresztül jut el a hidránsokig. A vízkivétel 100 mm átmérőjű légtömör

szívócsövön keresztül történik, a szívócső végére rácsszűrőkosár került felszerelésre a mechanikai szennyeződések kiszűrése érdekében. A szívóvezeték elemei, vagyis a spirálcsövek, könyökök és csövek 30°-ban elfordítható gyorskapcsolófejekkel vannak ellátva.

Az öntöződob típusa Rainbow 100/500 csévélhető öntöző dob hidraulikus vonórúdállvánnyal (*9. ábra*). A berendezés vízigénye 30-74 m^3/h, az öntözhető sávszélesség 63-100 m. A maximális öntözési távolság 500 méter, a csatlakozási nyomás 2,5 és 12 bar közötti. A berendezés négy fokozatú hajtóművel szerelt. A kívánt behúzási sebességet, ezáltal az öntözési normát egy széles teljesítménytartományon belül pontosan be lehet állítani a kapcsolókulissza és a fokozatkijelzés segítségével. Az öntözött táblát ezen műszaki jellemzők és az öntözendő terület műszaki paraméterei alapján hat öntözési sávra osztották. Az öntözési sávszélességeket a berendezés átlag teljesítménye alapján 33 és 72 méter között határozták meg, az öntözési hossz egyik sáv esetében sem haladja meg a maximális 500 métert. Az öntözővíz a dobtól 100 mm-es csövön, illetőleg a vízágyún keresztül jut el permet formájában az öntözendő növényre.

A lineár öntöző típusa RKD – SLG596, átforduló öntözőberendezés (*10. ábra*). A vízszállítás átlagban 120,52 m^3/h, a berendezés barázdás rendszerrel vezérelt. A nyomásigény a betáplálási pontnál 2,83 bar, a berendezés maximális sebessége 2,7 m/perc. A teljes terület beöntözéséhez szükséges ciklusidő 10,73 óra, a beöntözhető terület 44,45 ha.

9. ábra: Rainbow 100/500 csévélődobos öntözőberendezés

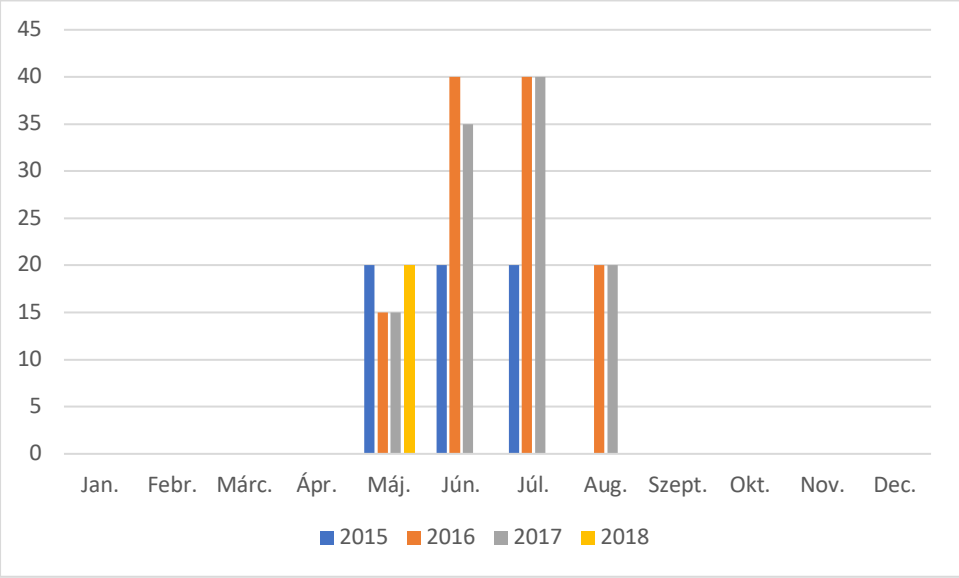
10. ábra: RKD – SLG596 átforduló lineár öntözőberendezés

Mindkét berendezést egy Cadoppi DC45MSA-P803A3S típusú szivattyú látja el vízzel, amelynek áramlási teljesítménye 138 m^3/óra. Mivel a szivattyú teljesítménye nem teszi lehetővé mindkét berendezés azonos idejű működtetését, ezért a nappali órákban a lineár öntöző berendezés üzemelt, míg az éjszakai órákban a dobos öntözővel végezték a vízpótlást. Így volt csökkenthető az öntöződobos technológiából eredő nagyobb párolgási veszteség.

3.2. A kísérleti kezelések bemutatása

3.2.1. Az öntözési kezelések bemutatása

A vízpótló öntözések a növények igényeihez lettek igazítva a lehullott csapadék és a növények vízigényének figyelembevételével (*11. ábra*). Május hónapokban a maximálisan kijuttatott vízmennyiség nem haladta meg a 20 mm-t, míg két egymást követő júliusi hónapban ez a mennyiség elérte a 40 mm-t. 2018-ban a napraforgó évében az egyenletes kelés biztosítása érdekében kelesztő öntözést végeztek májusban, viszont a többi hónapban már nem került sor öntözésre. Legtöbb vízpótlásra 2016-ban a vetőmagkukorica előállításakor került sor, attól némileg elmaradva a következő tenyészidőszakban is hasonló mértékű vízpótlásra került sor a kukoricatermesztés során.



11. ábra: A vízpótló öntözések havi megoszlása

A termésbiztonság megnövekedhet azáltal, hogy nem csupán az adott időszakra jellemző esetlegesen hiányzó csapadékmennyiség juttatható ki, hanem a növény zavartalan fejlődése is biztosítható annak igénye szerinti vízpótlással. Másrészt figyelembe kell venni a talaj- és környezetvédelmi szempontokat is. A több kis vagy közepes adagú öntözéssel elkerülhető a tápanyagok kimosódása és talajban hosszú ideig fennálló levegőtlen állapot kialakulása. A táblára kiadott öntözési vízjogi engedély szerint a területre évente maximálisan 54.000 m^3 pótolható öntözéssel. A vízjogi engedély kiadása az említett szempontok figyelembevételével történik és mivel egyik évben sem közelítette meg ezt az értéket az összesen kijuttatott öntözővíz mennyisége, továbbá az öntözési normák közepesnek számító 20

mm-es értékek körül voltak, ezért kijelenthető, hogy a mesterséges vízpótlás körülményei megfeleltek a mind környezeti, mind a termesztői elvárásoknak.

Gyakran előfordul virágzás és terméskötés idején fellépő légköri aszálynak nevezett jelenség. Érzékeny fenofázisban az alacsony légköri relatív páratartalom akkor is okozhat termésdepressziót, ha egyébként a talajban elegendő nedvesség található. Ennek kivédésére csökkentett vízhozamokkal, jellemzően 5-10 mm-rel folyamatos öntözési tevékenységet célszerű a táblán végezni abban az esetben, ha a talaj nedvességviszonyai ezt megengedik.

Az esőztető öntözőberendezések által kijuttatott vízmennyiség szabályozását jellemzően sebességvezérléssel végzik. Adott szórófej és víznyomás mellett a gyorsabb csévélés öntöződob esetében, illetve gyorsabb mozgási sebesség választása lineár esetében kevesebb vízpótlást eredményez egységnyi területen, mivel a berendezés kevesebb ideig tartózkodik az adott területen. A 10 cm-s rétegben jelentkező vízhiány az öntözőkör időigénye miatt minden esetben a vízpótlás szükségességét jelzi előre. Méréskelt vízhiány esetében főleg nyári időszakban célszerű hosszabb idejű öntözési köröket tervezni, így több vizet kijuttatni és a talajban tárolni. Érdemes megelőzni azt, hogy a 30 cm-es rétegben vízhiány alakuljon ki. A mélyebben rétegekben kialakuló vízhiányt csak fokozott mennyiségű öntözővíz kijuttatásával lehet megszüntetni, amely legtöbbször már meghaladja az öntözőtelep kapacitását.

Az öntözőnorma megtervezésénél figyelembe kell a párolgási veszteséget is. A modern lineár öntözőberendezéseken a szórófejek közel helyezkednek el a növényállományhoz ezáltal a víz rövid utat jár be az öntözőfejek és a talaj között. A csévélődobosdobos berendezés a vizet ágyú-szerűen a magasba lövi, miközben a fej lassú forgó mozgásával az öntözött sávban a vizet megközelítően egyenletesen oszlatja el. Ez utóbbi módszer jelentős párolgási veszteségeket okoz főleg hőségnapokon. Merőedényes helyszíni ellenőrzéseim során dobos öntözés mellett gyakran 30%-ot is meghaladó, amíg lineár esetében 10% körüli párolgási veszteségeket mértem. SADEGHI et al. (2017) hasonló eredményeket közöltek. Lineár öntözés esetén a napi vízveszteség értékét 8-18% között határozták meg, amelynek pontos mennyiségét leginkább a levegő hőmérséklete befolyásolta.

3.2.2. A felszíntakart parcellák kialakítása, a mintavételi pontok kiválasztása

A megközelítően szabályos téglalap alakú részen átforduló lineár öntözőberendezés üzemel. A lineárral (LÖ) öntözött területről származó földigiliszta mintákat e területről vettem. A földigiliszták mintavételi helyéhez közeli pontokban végeztem el a talajellenállási méréseket. A térképen látható *(8. ábra)* hosszan kinyúló részben sötétkékkel jelölve egy 500 méter hosszú öntöződobos öntözőtelep (DÖ) került kialakításra. Az öntöződobos kezelésből származó

földigiliszta minták és talajpenetrációs eredmények innen származnak. A harmadik típusú, vagyis nem öntözött terület (NÖ) az öntöződobos területhez képest a „Kasza major” túlsó oldalán helyezkedik el. A nem öntözött területen szükség esetén öntöződobbal lehetséges az öntözés, de sem a vizsgálat éveiben, sem az azt megelőző három évben ezt a táblát nem öntözték.

A mulccsal fedett kezeléseket a vizsgálati években mindig azonos három helyen alakítottam ki, a háromféle öntözési kezelésnek megfelelően. A takart parcellák 10x10 méteres területet foglaltak el, amelyeken egy-egy körbála búzaszalma került szétterítésre. A felszíntakarást évente két alkalommal végeztem el: a tenyészidőszak végén az utolsó őszi munkaművelet befejezése után közvetlenül (*12. ábra*), valamint tenyészidőszakban a már kikelt növényállományban (*13. ábra*). A talajtakarás időpontjai: 2015. május 21.és október 25.; 2016 május 12. és október 15; 2017. május 22 és október 24.; 2018. május 04. Adott időpontban egy körbála felét használtam fel takarásra céljára, így a felhasznált szalma mennyisége 150 kg volt öntözési kezelésenként és szezononként.

12. ábra: Talajtakarás tenyészidőszakon kívül – 2018.06.10.

13. ábra: Talajtakarás tenyészidőszakban - 2015.10.10.

A felszíntakarást a teljes vizsgálati időszakban minden évben ugyanazon a helyeken végeztem el. A takarás helyeit egyrészt vizuális módon, másrészt GPS készülék használatával azonosítottam be. A készülék használatára leginkább a sarokpontok meghatározása miatt volt szükség, mivel a művelőeszközök a takarást gyakran hosszan széthúzták a táblán.

A mesterséges eredetű talajtömörödéssel érintett (T) és a tömörödéssel nem érintett (NT) mintavételi pontok meghatározása az egyes öntözési és felszíntakarási kezeléseken belül lettek meghatározva, mind a földigiliszta mintavétel, mind pedig a talajpenetrációs mérések céljából. Minden öntözési és felszíntakarási kezelésből azonos számú tömör (T) és nem tömör (NT) minta származik. Valamint a 2016-ban elvégzett öntözés és mulcsozás együttes hatását vizsgáló laboratóriumi talajvizsgálat mintavételi helyei is igazodtak az említett kezelésekhez.

3.3. Kutatási módszerek

3.3.1. A talaj kémiai tulajdonságainak vizsgálata

A talajtani vizsgálatok elvégzésének két célja volt. Egyrészt feltárni, hogy rövid távon az egyes kísérleti kezelések miként hatnak a talaj tulajdonságaira. Másrészt hosszú távú összehasonlító vizsgálatokkal megvizsgálni, hogy az öntözési tevékenység milyen változásokat okoz a talajprofilban.

Az öntözési kezelések hatása. A vizsgálatok célja annak feltárása volt, hogy az öntözési tevékenység milyen változásokat okozott a 0-150 cm-es rétegben, különös tekintettel a sóprofil változásaira a szikesedési hajlam miatt. Ennek érdekében az öntözési beruházást megelőzően 2007-ben megvalósíthatósági tanulmány készült a vízjogi engedély kiadása iránti eljárás során. Ennek a mérésnek az adatai tükrözik a kiindulási állapotot, amely az öntözés szempontjából abszolút kontrollnak tekinthető. Az öntözési beruházás 2008-ban készült el, majd a hatásvizsgálatokat az engedély megújítási eljárásokban 2013-ban és 2017-ben megismételték. A helyszíni mintavételt követően a laboratóriumi vizsgálatokat a Bács-Ág Kft. Mezőgazdasági Vizsgáló és Termékminősítő Laboratóriumban végezte az *M3.1. táblázat* szerint.

A mulcsozás hatása. A vizsgálatok célja a kísérleti kezelések következtében esetlegesen kimutatható talajkémiai tulajdonságokban bekövetkező változások megismerése volt. Annak feltárása érdekében, hogy az öntözési kezelések és a talajtakarás milyen hatással lehet a talaj kémiai tulajdonságaira, 2016. április 09-én öt ismétlésben vettem mintákat minden kezelésből. A lineárral öntözött és nem takart (LÖ-NT); a lienárral öntözött és takart (LÖ-T); dobbal öntözött és nem takart (DÖ-NT); dobbal öntözött takart (DÖ-T); nem öntözött és nem takart (NÖ-NT); nem öntözött és takart (NÖ-T) parcellákból egyaránt a felső 30 cm-es rétegből származnak a minták. A laboratóriumi vizsgálatokat a hódmezővásárhelyi Agrokémiai Laboratóriumban végezték, a magyar szabványok (MSZ) szerint. A NO_3^--NO_2^--N tartalmat (MSZ-20135:199, 5.4.5) KCl kivonatból származó mintából Contiflo Analyzer határozta meg. A P_2O_5 tartalmat (MSZ-20135:1999, 5.4.2) szabvány alapján szintén ez a műszer határozta meg. A K_2O tartalmat (MSZ-20135:1999, 5.3) atomabszorpciós spektroszkópia határozta meg.

A pH mérést 1 rész talaj és 2,5 rész kálim-klorid (KCl) oldat hozzáadásával határozták meg digitális pH mérővel (HACH-LANGE, HQ411D) potenciometriánsan (MSZ-08-0206/2:1978, 2.1). A humusztartalmat az MSZ-08-0210:1977, 2.1 (Szerves széntartalom vizsgálata a talajban) alapján spektrofotométerrel határozták meg. A $CaCO_3$ meghatározását

10%-os HCL oldat hozzáadásával végezték, a keletkezett CO_2 mennyiségét Scheibel-féle kalciméterrel mérték. A keletkezett CO_2 mennyiségéből visszaszámolással állapították meg, hogy mennyi a $CaCO_3$-tal egyenértékű a gáz mennyisége (MSZ-08-0206-2:1978, 2,2).

3.3.2. A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata

A talaj kötöttségének jellemzése. A talaj fizikai vizsgálata során meghatározásra került az Arany-féle kötöttségi szám a kémiai laboratóriumi vizsgálattal azonos időben és helyen. Légszáraz talajhoz desztillált vizet adtak keverés közben és megmérték, hogy 100 g talaj esetén hány milliméter vízre volt szükség ahhoz, hogy az egy meghatározott konzisztenciájú pép legyen, amely az úgynevezett fonálpróbát adja.

Ezen kívül helyszíni mérésekkel állapítottam meg a talaj penetrációs ellenállását. Vizsgálatokat a giliszta-mintavételezéssel azonos időpontokban évente két alkalommal négy ismétlésben végeztem el kezelésekként. A méréseket a takart területen, illetve annak 5-10 méteres körzetéből a nem takart területekről véletlenszerűen vettem. Mindkét típusú kezelés esetében a mérések felét a művelőeszközök által tömörített, másik felét nem tömörített részeken végeztem el. A penetrációs méréshez kézi Szarvas típusú műszert (MOBITECH Bt.) használtam, a mért adatokat Mega Pascalban (MPa) kaptam meg. A méréseket öt mélységben végeztem el: a 0-7,5; 7,5-15; 15-22,5; 22,5-30 és a 30-37,5 cm-es rétegekben.

Talajnedvesség vizsgálatok. A talajellenállás vizsgálattal azonos időpontokban elvégeztem a talaj nedvességtartalmának mérését a Kapacitív Kkt. által gyártott PT-1 típusú mérőeszközzel. A mérés alapjául a talaj elektromos ellenállása szolgál, amely fordítottan arányos a nedvességtartalommal. A mérések eredményeit tömegszázalékban (m/m%) kaptam meg. A méréseket a felső 0-15 cm-es mélységre vonatkozóan végeztem el.

A vetést követően 2016-ban a területre az Irriga – System folyamatos mérést biztosító érzékelői kerültek kihelyezésre. A rendszer a természetes csapadék mennyiségét és a kiöntözött mennyiséget grafikus formában jelenítette meg a teljes tenyészidőszak során egy internetes felületen. Továbbá meteorológiai adatok (léghőmérséklet, relatív páratartalom, napsugárzás, légköri nyomás, szélsebesség, csapadék mennyisége) és a talaj vízkapacitásának adatai segítségével öntözési javaslatokat készítettem döntéstámogatási célból az öntözési normákra és gyakoriságra vonatkozóan. A rendszer telepítése előtt szükséges feltárni a talaj fizikai és vízforgalmi jellemzőit talajmintavétel segítségével: úgymint a talaj textúrája, porozitása, talajnedvesség mozgása, térfogattömege. Az adatbázis számos öntözött növény jellemzőit tartalmazza. Ezek között említhető meg a növények számára kritikus időszak, levélfelület mérete, növénymagasság, gyökérmélység, növénysűrűség.

Kihelyezett mérőállomással 2016-ban az öntözési időszakban folyamatosan vizsgáltam a talajnedvesség értékeit (soil water tension SWT– cbar) 0-10 és 10-30 centiméteres rétegekben. A nedvességpotenciál értéke hasonló információkat szolgálat az öntözés megtervezése során, mint a pF görbe értékei. Amíg a pF értékét a talajnedvesség potenciál vízoszlop cm-ben kifejezett értékének tízes alapú logaritmusával fejezzük ki, addig a SWT értékét a mérőműszer cbar-ban adja meg, amelyet az SI mértékegységnek megfelelően kPa-ba számoltam át. A talaj aktuális nedvességi állapotának jellemzésére alkalmas mutató a pF érték alkalmazása. Ezzel az értékkel a talaj nedvszívó képessége jellemezhető, mivel a növény gyökérzete a nedvességet a pF értékkel jellemezhető szívóerő ellenében vonja el (HÖRCHER 1979). Ugyanakkor HELYES (2005) megjegyzi, hogy a talaj különböző nedvességtartalmát kifejező értékek (VKsz%, DV%, pF) figyelembevétele bár kézenfekvő, mégsem alkalmas az öntözés időzítésére, mivel azonos VKsz% értékek eltérő talajtípusokon alapvetően más vízmennyiség hozzáférhetőségét jelentik a növények számára.

3.3.3. A talajvíz és az öntözővíz minőség vizsgálata

A talajvíz aktuális szintjének ellenőrzésére a lineárral öntözött (LÖ), illetve a csévélődobbal öntözött (DÖ) talajokon 2 m mélységig összesen három furatot készítettem. A talajvizet csupán abban a furatban sikerült elérni, amely közvetlenül az öntözőcsatorna közeléből származik, így a talajvíz laboratóriumi vizsgálatához innen történt a mintavétel. Az öntözési beruházást megelőző, 2007-ben készült talajtani szakvélemény a kritikus talajvízszintet 2 méterben jelölte meg, ebből arra következtetek, hogy a vizsgálati terület jelentős részén a talajvízszint jellemzően 2 méternél mélyebben található.

A vizsgálatba vont tábla öntözése a Nagykunsági Főcsatorna nyugati ágáról, a XII. számú öntözőfürtből (NK–XII-1) származó vízzel történik, évi 54.000 m³ engedélyezett vízkivételi mennyiséggel. A mintavételre a szivattyú mellett (EOV:742284K, 176040É), öntözési idényen kívül, alacsony vízszint mellett került sor. A víz földalatti nyomóvezetéken jut el a hidránsokig. Az öntözővíz laborvizsgálati eredményei minden tekintetben megfelelnek a 90/2008 (VII. 18.) FVM rendeletben foglalt előírásoknak és paramétereknek. Az öntözővíz kevert anion típusú, ami az jelenti, hogy az EC=1,13 mS/cm, vagyis a 0,78-1,56 mS/cm intervallumba esik. Az SAR érték 3,7 azaz <6,5; a kémhatása 7,36, a klorid-ion mennyisége közepes (40,7 mg/l), nem toxikus. A vizsgálatot végző laboratórium neve: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Növény-, Talaj és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság Velencei Talajvédelmi Laboratórium. A talajvíz és öntözővíz laboratóriumi vizsgálati módszereit az *M.3.2. táblázat* foglalja össze.

3.3.4. A földigiliszta mintavételezés

A földigiliszta mintavételeket a vonatkozó ISO (2006) szabványok figyelembevételével terveztem meg (ISO 2006). In situ kézi mintavételezést végeztem, amely mintánként 40-45 percig tartott (*14. ábra*). A vizsgálat megkezdésekor 25x25x30 cm-es mintavételi gödröket ástam, amelyek pontos helyeit rögzítettem és a takart parcellák területét GPS készülék segítségével meghatároztam (*15. ábra*).

14. ábra: In situ kézi mintavétel

15. ábra: GPS helyadatok rögzítése

A kézi válogatás során összegyűjtött gilisztákat 70%-os etanolban öltem el, majd egy héten keresztül 4%-os formalinban rögzítettem a mintákat. A formalinos áztatást követően a minták ismételten 70%-os etanolba kerültek tárolás céljából. Laboratóriumi körülmények között meghatározásra került a földigiliszták egyedszáma (db/m^2) és biomasszája g/m^2-ben kifejezve. A földigiliszta fajok külső és belső jellemzőik alapján kerültek beazonosításra a CSUZDI 2007; CSUZDI és ZICSI 2003 által leírt módszer szerint.

A földigiliszták egyedszámát és biomasszáját évente két alkalommal mértem, nyáron és ősszel. A 2015. és 2018. közötti vizsgálati időszakban összesen hat alkalommal: 2015. szeptember 12.; 2016. június 10. és szeptember 20.; 2017. július 19. és október 10.; 2018. június 24. Három mérés az öntözési időszak adatait, három mérés pedig az öntözési szezont követő időszak adatait tükrözi. Egy mintavételi napon összesen negyvennyolc mintát vettem. Mindhárom öntözési kezelésből egyenként tizenhat (n=16) minta származott, amelyeknek a fele a mulcsozott (M, n=8), másik fele a nem mulcsozott (NM, n=8) talajokból származik. Az M és

NM kezeléseken belül egyaránt 4 minta a taposott (T, n=4), négy minta a nem tömörített (NT, n=4) területről származik.

3.3.5. Statisztikai elemzés

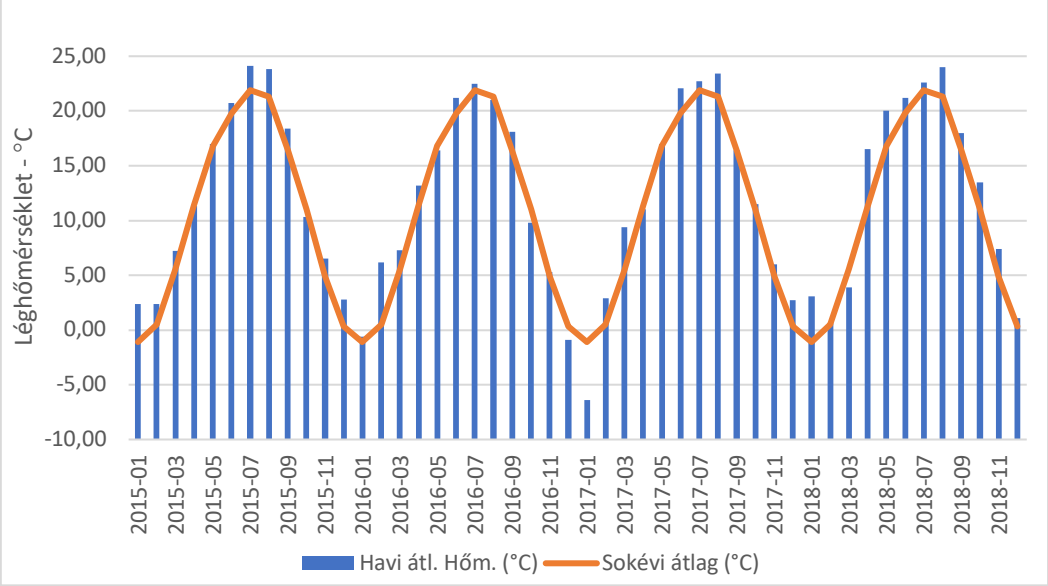
A statisztikai elemzésekhez az IBM SPSS Statistics 25 programcsomagot használtam. Az eltérő öntözési (NÖ, LÖ, DÖ) módok közötti eltérések vizsgálatát a talajellenállás és talajnedvesség értékekben, valamint a földigiliszta egyedszámban és tömegben az egytényezős varianciaanalízissel végeztem. Amennyiben az empirikus szignifikanciaszint (p-érték) nem haladta meg a 0,05-öt, akkor a csoportátlagok azonosságát állító nullhipotézist elvetettem, az eltérést szignifikánsnak értékeltem. A csoportok közötti szignifikáns kapcsolatokat Tukey HSD (Honestly Significant Difference – valódi jelentős eltérés) post hoc próba segítségével határoztam meg. A Tukey-próba különböző méretű minták esetében többféle páros összehasonlításra alkalmazható, a nemzetközi talajkutatásban gyakran alkalmazott módszer (BALDIVIESO-FREITAS et al. 2018; CASTRO et al. 2019; HENEGHAN et al. 2007; SALEHI et al. 2013). A varianciaanalízist megelőzően az adatok normalitását a Kolmogorov-Smirnov próbával, a varianciák homogenitását a Levene-teszttel ellenőriztem. Mivel a kétmintás t-próba érzékeny lehet a normalitás sérülésére és a legtöbb esetben Kolmogorov-Smirnov próba szignifikáns volt, ezért két csoport átlagértékeinek összehasonlítására (mulcsozott – M és nem mulcsozott - NM, taposott – T és nem taposott – NT talajok) KAO és GREEN (2008) javaslata alapján a F-próbát végeztem.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A meteorológiai adatok értékelése

4.1.1. Hőmérsékleti viszonyok a vizsgált időszakban

A kísérleti parcella térségében 2015 június és 2018 szeptember között a sokévi átlaghőmérsékletet tekintve nem volt jelentős eltérés 48 hónap átlagában. A teljes időszakra vetítve 1,26 °C eltérés mutatkozott az összesített átlagban. Azonban a számsorokat megvizsgálva (*M3.3.1. – M.3.3.4. táblázatok*) megfigyelhető több szélsőséges eltérés a havi átlaghőmérsékleti adatokban mind pozitív, mind negatív irányban. Míg 2016. februárjában a havi átlaghőmérséklet 5,7 °C-kal haladta meg a sokévi átlagot, addig 2017. januári érték 5,3 °C-kal maradt el a sokévi átlagtól. Ezeken kívül még további két hónapban volt megfigyelhető jelentős eltérés a sokévi átlaghoz képest. 2018. januárjában 4,2 °C és 2018. áprilisában 5,1 °C-kal haladta meg az átlaghőmérséklet a sokéves átlagot. Amíg jellemzően több hónapban az átlaghőmérséklet kevesebb, mint 1 °C-kal tért el csupán az sokéves átlagtól, így átlagosnak tekinthetőek, addig 8 hónapban elmaradtak ezek az érték a sokéves átlagtól *(16. ábra)*.



16. ábra: A vizsgálati időszak havi átlaghőmérsékletei és a sokéves átlag léghőmérséklet

4.1.2. Csapadékviszonyok a vizsgált időszakban

Az átlagos éves csapadékösszeg értékétől (520,7 mm) a 2015-ben mért csapadékösszeg 66,90 mm-rel elmaradt, amíg 2016-ben 62,70 mm összeggel haladta meg azt. Ezt követően 2017-ben 510,30 mm csapadék hullott, vagyis csupán 10,40 mm-rel marad el az éves átlagtól.

A 2018-as csapadékadatok szintén hasonlóan alakultak, mint az előző évben és csak 14,30 mm-rel maradt el az éves csapadékmennyiség a sokéves átlagtól. Megállapítható tehát, hogy a vizsgált időszak egy száraz és egy nedves évjáratból, valamint két átlagosból állt.

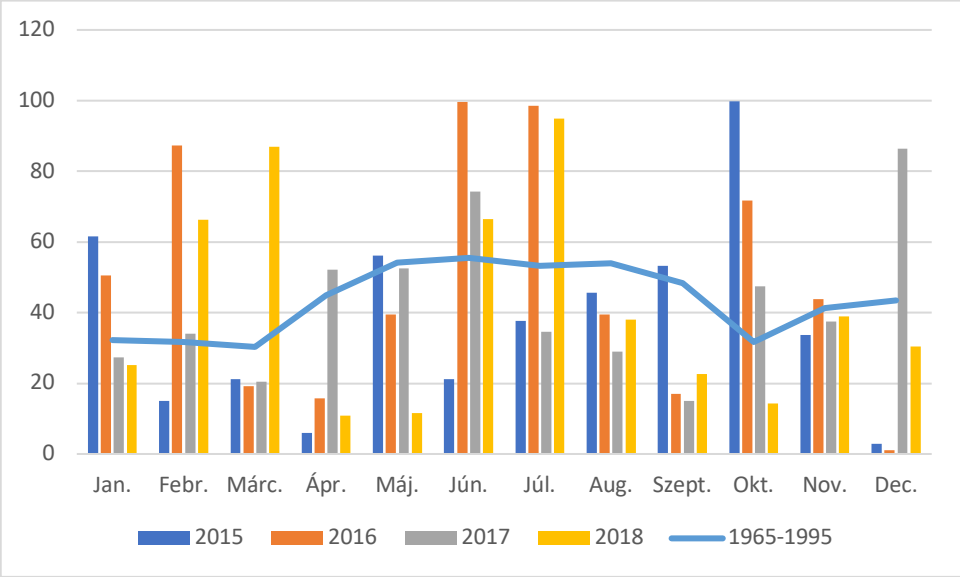
Havi bontásban megfigyelve az adatokat ennél sokkal változatosabb képet kapunk a csapadékeloszlásról. A 2015. évi csapadékeloszlás különösen kedvezőtlenül alakult *(M.3.3.5.táblázat)*. Mind a tenyészidőszakban, mind pedig azt megelőzően a havi átlagok a sokéves átlagok alatt alakultak. Ezeket a hónapokat követte az extrém csapadékos október, amikor 68,20 mm-rel meghaladta a csapadék a sokéves átlagot, ezért az éves adatsorban csupán 66,9 mm hiány keletkezett. A későn érkezett csapadék azonban csak az adott év nyári végi és őszi vetésű növényeinek fejlődését segítette, mivel az előző évi és a tavaszi vetésű növények termesztése során a tenyészidőszakban végig vízhiány mutatkozott. A kedvezőtlen csapadékeloszlás további következményei közé tartozik, hogy késleltette az őszi betakarítási és a talajelőkészítési munkákat, amelyek így nem mindig a talaj megfelelő nedvességtartalma mellett lettek elvégezve.

2016-ban lényegesen kedvezőbben alakult a csapadékeloszlás. Éves szinten 62,70 mm-rel több csapadék hullott a sokéves átlagnál (*M.3.3.6.táblázat*). A február kifejezetten csapadékos volt, 55,60 mm-rel több csapadék hullott az adott hónapra jellemző mennyiségnél, majd ezt követően a viszonylag szárazabb tavaszi hónapokat hónapok következtek. A nyár ismét csapadékosra fordult. A júniusban 44,20 mm-rel, júliusban pedig 45,40 mm-rel több csapadék hullott a sokéves átlagnál. Ebben az évben is megfigyelhető volt az októberi csapadéktöbblet, amely 40,10 mm-rel haladta meg a sokévi átlagot. Megállapítható, hogy az eloszlást tekintve ennek az évnek a csapadékviszonyai lényegesen kedvezőbbek voltak az előző évinél.

A 2017 évi csapadékeloszlás sem ítélhető kedvezőnek annak ellenére, hogy a tavaszi hónapokban szinte egyáltalán nem maradt el a csapadékmennyiség a sokévi átlagtól. A július szeptember közötti időszakban azonban már több mint 70 mm-rel maradt el az erre az időszakra jellemzőtől. Az év azonban összességben átlag körül alakult, köszönhetően a kimagasló december hónapnak, amikor 42,9 mm-rel haladta meg a mért érték a sokévi átlagot *(M.3.3.7.táblázat)*. Az adott év termelési feltételeit a decemberben lehulló többlet természetesen nem befolyásolta, hatását legfeljebb a következő évben tudta csak kifejteni tartalék formájában, ezen felül a vizsgált terület adottságai miatt növelte a tavaszi belvíz kialakulásának veszélyét.

Ennél lényegesen kedvezőtlenebb eloszlást mutattak a 2018-as adatok *(M.3.3.8.táblázat)*. A kifejezetten csapadékos februárt és márciust követően, amely két hónap

csapadéktöbblete a sokévi átlagot 90 mm-rel haladta meg, következett két meglehetősen száraz hónap 76 mm csapadékhiánnyal. A nyár első hónapja ugyan ismét csapadékosra fordult, de július elejétől szeptember végéig tartó időszakra ismét a csapadékhiány volt jellemző. Ennek az időszaknak az értékei összesen több, mint 55 mm-rel maradtak el a sokévi átlagtól. A *17. ábrán* mutatom be a 2015-2018 időszak csapadékadatainak alakulását.



17. ábra: A 2015-2018 időszak havi csapadékeloszlása és a sokéves átlag alakulása (mm)

A vizsgált időszakban többnyire átlag körüli májusi hónapok voltak, kivéve 2018-ban, ekkor jelentősen elmaradt az átlagtól a lehullott csapadék összege, amelyet azonban átlag feletti csapadékú júniusi és júliusi hónapok követtek. A júniusi hónapok közül csak 2015-ben maradt átlag alatt a csapadékmennyiség, a többi évben azonban olykor jelentősen meghaladta az átlagot. A júliusi hónapok vegyes képet mutattak eloszlás és mennyiség szempontjából, két kimagasló év, 2016 és 2018 év mellett a másik két évben elmaradás volt megfigyelhető. Az augusztusi hónapok csapadéka minden esetben némileg elmaradt a sokéves átlagoktól. Ennek azonban a viszonylag korai fajtájú kukorica, valamit szója és a korai érésű kukorica hibridvonalak esetében már nem volt jelentős termésmennyiséget befolyásoló hatása.

4.1.3. A 0-10 és a 10-30 cm-es talajrétegek nedvességtartalmának vizsgálata

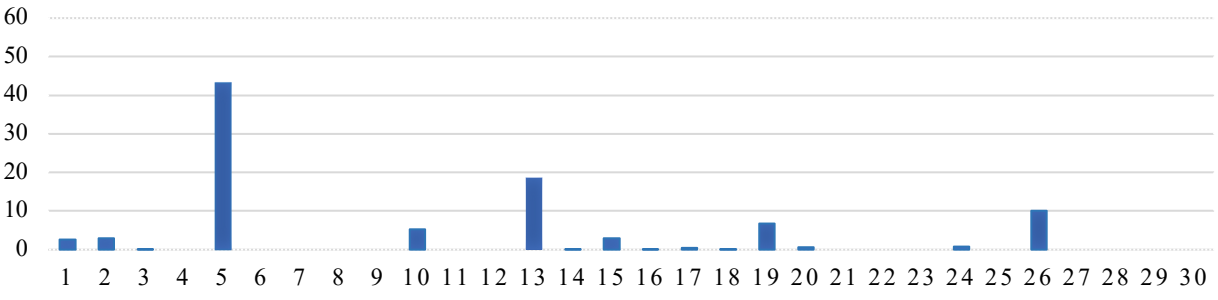
A 2016-os tenyészidőszak csapadék és öntözési, együttesen vízinput adatait az *5. táblázatban* foglaltam össze. Ebben az évben rendelkezésemre álló mérőberendezés segítségével folyamatos mérési adatokhoz jutottam a vizsgált területre hullott csapadék és kiöntözött vízmennyiséggel kapcsolatban. Ez egyúttal kontrollmérésnek is tekinthető az üzemi

és a rendelkezésemre álló meteorológiai adatok vonatkozásában, lehetőséget adva számomra az eltérések vizsgálatára.

5. táblázat: 2016. tenyészidőszak vízinput (Forrás: Irriga System - Field report)

Hó	Nap	Csapadék vagy öntözés	Összesen (mm)	Hó	Nap	Csapadék vagy öntözés	Összesen (mm)
Ápr.	21	6,0	6,0	Jún.	1	2,6	52.2
	24	5,0	11,0		2	3,2	55.4
	25	3,4	14,4		5	43,2	98.6
	27	1,0	15,4		10	5,2	103,8
	29	3,2	18,6		14	18,8	122,6
					15	3,0	125,6
					18	0,8	126,4
Máj	4	1,0	19,6		19	6,8	133,2
	5	0,4	20,0		26	11,4	144,6
	12	17,0	37,0	Júl.	12	3,8	148,4
	13	0,2	37,2		13	16,2	164,6
	14	3,2	40,4		14	22,2	186,8
	15	4,4	44,8		15	4,0	190,8
	30	4,8	49,6		16	46,6	237,4
					17	15,0	252,4

2016. június hónapban a lineárral öntözött területre összesen 95 mm vízinput jutott a mérőberendezés adatai alapján (*18. ábra*). Figyelembe véve a kiöntözött 40 mm öntözővizet, a táblán mért érték jelentősen eltér az OMSZ által kimutatott 99,7 mm csapadékösszegtől. A különbség azzal magyarázható, hogy az OMSZ mérőállomás és a helyi mérés földrajzilag nem esik pontosan egybe. Többször megfigyeltem, hogy nyári záporok elvonulása változatos csapadékeloszláshoz vezethet akár igen kis területen belül, gyakran előfordul, hogy a tábla különböző részein eltérő csapadékmennyiség mérhető.

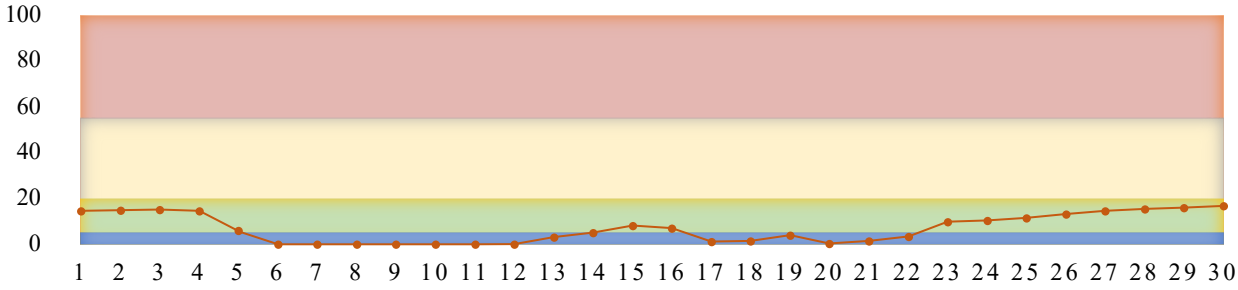


Nap	6. 1.	6. 2.	6. 3.	6. 4.	6. 5.	6. 6.	6. 7.	6. 8.	6. 9.	6. 10.	6. 11.	6. 12.	6. 13.	6. 14.	6. 15.	6. 16.	6. 17.	6. 18.	6. 19.	6. 20.	6. 21.	6. 22.	6. 23.	6. 24.	6. 25.	6. 26.	6. 27.	6. 28.	6. 29.	6. 30.
mm	2,6	3	0,2	-	43,2	-	-	-	-	5,2	-	-	18,6	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	6,8	0,6	-	-	-	0,8	-	10	-	-	-	-

18. ábra: Vízinput (mm) - 2016 június 1-30.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

Általánosságban elmondható, hogy a talaj alacsonyabb nedvességpotenciál értékéhez a növények számára kedvezőbb talajnedvességi állapot tartozik, addig, amíg a talaj nem válik

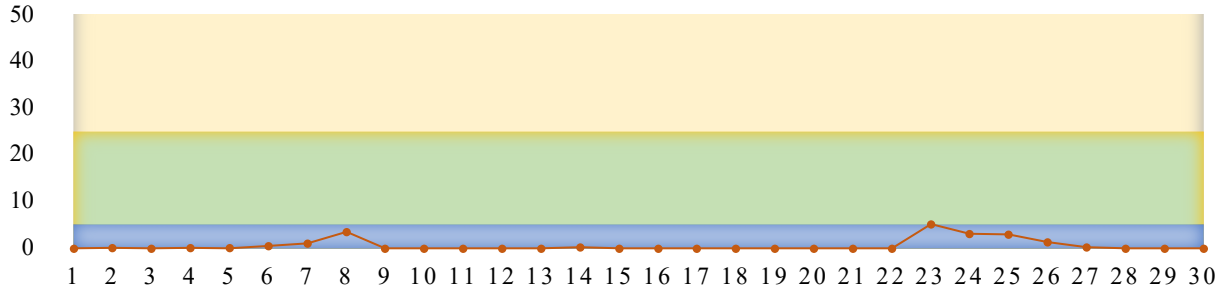
nedvességgel túltelítetté, levegőtlenné. A *19. ábrán* megfigyelhető, hogy a 0-10 cm-es rétegekben a nedvességpotenciál értéke a hónap során végig a 0-20 kPa tartományban maradt, vagyis összességében a növény fejlettségi állapotának megfelelő vízellátást biztosított a felső réteg. Június 04-én és június 16-án elvégzett öntözések segítségével sikerült 10 cm mélységben optimális értékek között tartani a talaj nedvességtartalmát.



Nap	6. 1.	6. 2.	6. 3.	6. 4.	6. 5.	6. 6.	6. 7.	6. 8.	6. 9.	6. 10.	6. 11.	6. 12.	6. 13.	6. 14.	6. 15.	6. 16.	6. 17.	6. 18.	6. 19.	6. 20.	6. 21.	6. 22.	6. 23.	6. 24.	6. 25.	6. 26.	6. 27.	6. 28.	6. 29.	6. 30.
kPa	14,7	15	15,2	14,7	5,8	-	-	-	-	-	-	0,2	3,2	5	8,1	7,1	1,3	1,4	3,9	0,5	1,6	3,4	10	10,4	11,7	13,3	14,7	15,6	16	16,8

19. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 0-10 cm rétegben, 2016 június 1-30.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

A júniusban a 10-30 cm-es réteg egész hónapban nedvességgel telített volt, a vízpótlás az értékekben jelentős változást nem okozott *(20. ábra)*. Feltételezhetően a többlet egy része mélyebb rétegekbe szivárgott növelve ezzel a tápanyagok kimosódásának veszélyét. Másrészről viszont kedvező adottságnak értékelhető, hogy az őszi és téli csapadék a mélyben raktározódott és a viszonylag száraz tavaszi hónapok után is kimutatható a 10-30 cm-es rétegben.

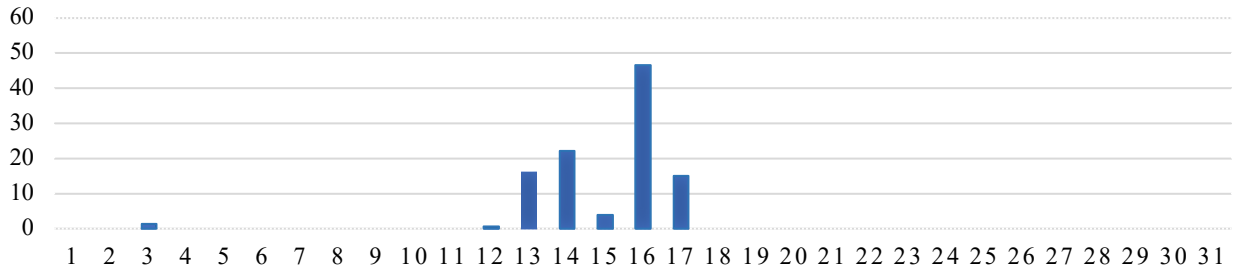


Nap	6. 1.	6. 2.	6. 3.	6. 4.	6. 5.	6. 6.	6. 7.	6. 8.	6. 9.	6. 10.	6. 11.	6. 12.	6. 13.	6. 14.	6. 15.	6. 16.	6. 17.	6. 18.	6. 19.	6. 20.	6. 21.	6. 22.	6. 23.	6. 24.	6. 25.	6. 26.	6. 27.	6. 28.	6. 29.	6. 30.
kPa	-	0,1	-	0,1	-	0,5	1,1	3,6	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	3,1	3	1,4	0,2	-	-	-

20. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 10-30 cm rétegben, 2016 június 1-30.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

A júliusi csapadékeloszlás 2016-ban ugyan nem alakult kedvezően a növénytermesztés szempontjából, de az öntözéssel kijuttatott és a természetes csapadék összesen 107,8 mm vízinput mennyisége megfelelőnek értékelhető. Az OMSZ által jelentett 98,6 mm csapadék és

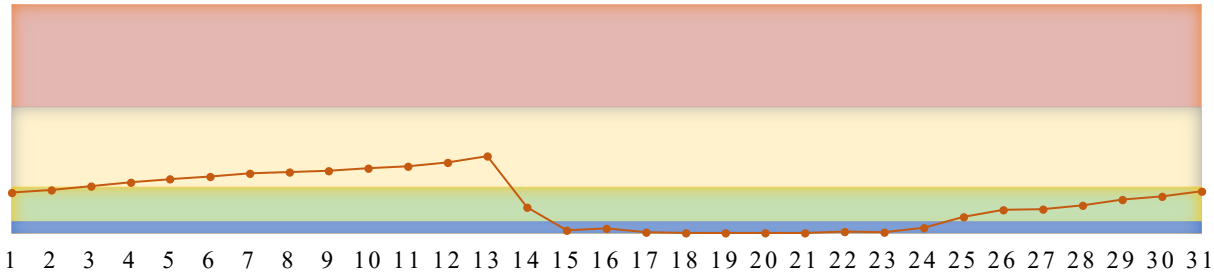
a 20 mm kiöntözött mennyiség együttesen nem mutat jelentős eltérést a táblán mért adatokhoz képest *(21. ábra)*.



Nap	7. 1.	7. 2.	7. 3.	7. 4.	7. 5.	7. 6.	7. 7.	7. 8.	7. 9.	7. 10.	7. 11.	7. 12.	7. 13.	7. 14.	7. 15.	7. 16.	7. 17.	7. 18.	7. 19.	7. 20.	7. 21.	7. 22.	7. 23.	7. 24.	7. 25.	7. 26.	7. 27.	7. 28.	7. 29.	7. 30.	7.31.
mm	-	-	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	16,2	22,2	4	46,6	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

21. ábra: Vízinput (mm) - 2016 július 1-31.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

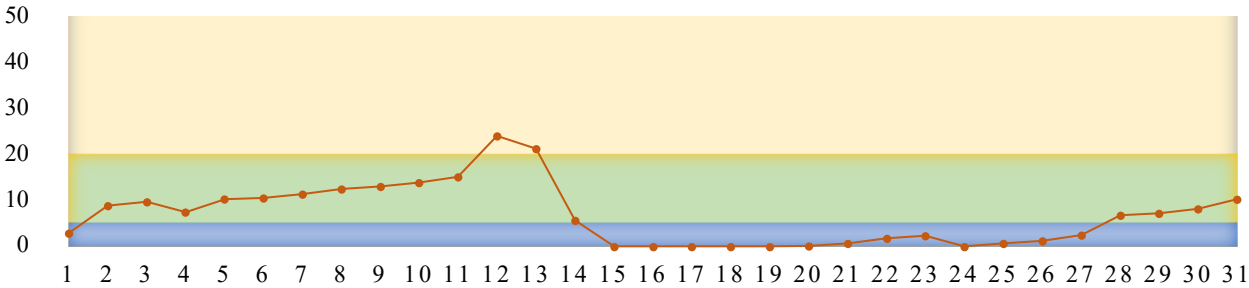
A *22. ábrán* megfigyelhető nedvességpotenciál emelkedése a hónap 13. napjáig, amely a felső rétegben kialakuló vízhiányt jelezte előre. A július 14. elvégzett öntözéssel azonban megelőzhető volt a veszélyes vízhiány kialakulása.



Nap	7. 1.	7. 2.	7. 3.	7. 4.	7. 5.	7. 6.	7. 7.	7. 8.	7. 9.	7. 10.	7. 11.	7. 12.	7. 13.	7. 14.	7. 15.	7. 16.	7. 17.	7. 18.	7. 19.	7. 20.	7. 21.	7. 22.	7. 23.	7. 24.	7. 25.	7. 26.	7. 27.	7. 28.	7. 29.	7. 30.	7.31.
kPa	17,7	19	20,4	22,2	23,5	24,7	26	26,6	27,2	28,3	29,1	30,8	33,6	11,2	1,2	1,9	0,4	-	-	-	-	0,7	0,2	2,3	7	10	10,5	12	14,5	16	18,3

22. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 0-10 cm rétegben, 2016 július 1-31.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

A mélyebb (10-30 cm) rétegben (*23. ábra*) a nedvességpotenciál adatok az egész hónapban végig kedvező sávban maradtak.



Nap	7.1.	7.2.	7.3.	7. 4.	7. 5.	7. 6.	7. 7.	7. 8.	7. 9.	7. 10.	7. 11.	7. 12.	7. 13.	7. 14.	7. 15.	7. 16.	7. 17.	7. 18.	7. 19.	7. 20.	7. 21.	7. 22.	7. 23.	7. 24.	7. 25.	7. 26.	7. 27.	7. 28.	7. 29.	7. 30.	7.31.
kPa	2,8	8,9	9,7	7,4	10,2	10,5	11,4	12,4	13	13,9	15,1	24	21,2	5,6	-	-	-	-	-	0,1	0,7	1,7	2,3	-	0,6	1,2	2,4	6,8	7,2	8,1	10,2

23. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 10-30 cm rétegben, 2016 július 1-31.
(Saját munka az Irriga System - Field report adatai alapján)

A 0-10 cm-es és a 10-30 cm-es réteg nedvességpotenciál adatait együttesen értékelve elmondható, hogy nem történt túlöntözés, mivel a kijuttatás csupán a kedvező nedvességi állapot fenntartását szolgálta és a vízhiány pótlására törekedett.

4.1.4. A felső talajréteg nedvességtartalma

A talaj felső rétegében a nedvességtartalom mérések a földigiliszta mintavétellel azonos időpontban történtek. Az öntözés és a mintavétel között eltelt időben a felszín kiszáradt, ezért a nem öntözött talajokhoz képest a 0-15 cm-es rétegek nedvességtartalmában nem volt kimutatható eltérés. A mintavétel és az öntözés időpontja között minden esetben legalább négy nap telt el annak érdekében, hogy az adatok ne a vízkijuttatás aktuális értékeit tükrözzék, hanem a talaj felső rétegeiben tárolt nedvességről adjanak tájékoztatást. A legmagasabb talajnedvesség a nyári mintákban volt mérhető, az LÖ-NM -T kezelésben 50,0 m/m % értékkel *(6. táblázat)*.

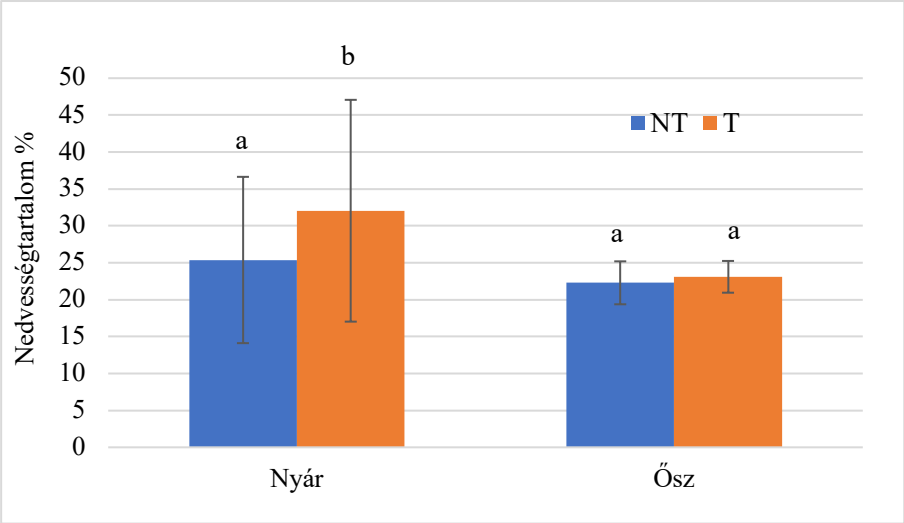
6. táblázat: A talaj nedvességtartalma 0-15 cm rétegben (m/m%).

		Nem öntözött - NÖ		**Lineárral öntözött -LÖ**		**Dobbal öntözött - DÖ**	
Dátum	**KEZELÉS**	**NM**	**M**	**NM**	**M**	**NM**	**M**
2016.06.10	**Taposott - T**	23,4	28,7	24,0	47,6	26,4	48,3
	Nem taposott - NT	25,1	47,3	23,4	25,1	15,5	49,2
	Taposott - T	20,0	44,8	48,7	41,4	45,1	49,0
	Nem taposott - NT	25,4	37,5	24,8	23,4	17,1	30,3
2016.09.20	**Taposott - T**	20,5	19,9	22,0	20,5	22,7	22,3
	Nem taposott - NT	22,6	21,4	21,6	23,5	17,4	18,0
	Taposott - T	20,0	23,3	22,0	24,6	21,9	24,1
	Nem taposott - NT	19,6	22,4	22,7	23,3	19,7	22,1
2017.07.19	**Taposott - T**	22,5	16,3	14	10,5	17,5	13,4
	Nem taposott - NT	16,6	16,1	13,7	14,7	18,4	14,8
	Taposott - T	18,4	16,1	**9,2**	13,7	9,7	11,6
	Nem taposott - NT	19,1	14,0	12,1	12,4	17,1	15,4
2017.10.10	**Taposott - T**	24,1	25,0	19,7	24,8	25,7	25,4
	Nem taposott - NT	24,3	27,7	24,6	25,6	22,9	24,2
	Taposott - T	24,8	25,5	20,0	24,2	25,4	25,6
	Nem taposott - NT	21,1	14,0	24,8	24,1	23,9	23,6
2018.06.24	**Taposott - T**	45,9	38,9	48,3	49,4	41,3	47,7
	Nem taposott - NT	24,3	24,6	21,7	46,5	45,3	46,8
	Taposott - T	28,9	48,8	**50,0**	44,8	42,8	45,6
	Nem taposott - NT	24,4	28,7	22,1	45,3	25,3	31,0

NM – Nem mulcsozott; M – Mulcsozott

A legalacsonyabb érték ugyancsak nyári mintából származott (9,2 m/m %). Mindkét esetben a nem mulcsozott (NM) talajból származtak a minták. Mulcsozott (M) talajok esetében

is hasonlóan alakultak a szélső értékek (10,50 – 47,60 %), ezért az eltérések az évjáratnak tudhatók be. A legkedvezőbb talajnedvességi értékek 2016 nyarán és 2018 nyarán voltak mérhetők. Ezekben az években a meteorológiai jelentések szerint a nyári időszakok, főleg a nyár elején az átlagosnál csapadékosabban alakultak, tehát a kedvezőbb talajnedvességi állapot főként a csapadéknak volt köszönhető. Az összesen öt mintavétel átlagában egyedül az öntözési időszakok művelés következtében tömörödött (T) mintái (32,04%) tértek el jelentősen ($p<0,05$) a nem tömörödött (NT) mintákhoz (25,37 %) képest (*24. ábra*). Az őszi taposott (T) minta értékei (23,09 %) nem tértek el jelentősen az őszi nem taposott (NT) mintáktól (22,28%).



24. ábra: Nedvességtartalom (m/m %) alakulása a tömör T és NT kezelésenként

A gépek által okozott talajtaposás következtében növekedett a térfogattömeg és a nedvességtartalom (KOGUT és SERGIEL 2021). ARCHER és SMITH (1973) azt tapasztalták, hogy a víztartalom egy bizonyos pontig lineárisan nőtt a talaj térfogattömegével. A fenti szerzőkkel azonos következtetésre jutottam a nyári mintavételi időpontokból származó eredményeim alapján. Őszi időszakban azonban ezt az összefüggést már nem tudtam kimutatni. Az átlagos talajnedvességi és szórási értékeket 7,5 cm mélységben a *7. táblázat* foglalja össze.

7. táblázat: A talaj átlagos nedvességtartalma (m/m%) és szórási értékei 0-15 cm rétegben

Tényezők	NT	T	NT(SD)	T(SD)
NYÁR	25,38%	32,05%	11,26	15,02
ŐSZ	22,28%	23,11%	2,91	2,15

A tömörödéssel érintett szelvényekben a víz lefelé irányuló mozgása gátolt, így a nyári hónapokban jelentős eltérés alakult ki a laza és tömör szelvények között. A laza a szelvényekben vízmozgás nem akadályozott, ezért a felszín közeli réteg gyorsabban kiszáradt. A párolgás tovább fokozta a felső réteg vízveszteségét elsősorban a nem takart talajokon (NM),

amelynek a nedvességtartalma elmaradt a takarthoz (M) képest, azonban szignifikáns különbség ebben az esetben nem volt kimutatható.

4.2. Az öntözővíz és a talajvíz minőség vizsgálatok eredményei

A bevizsgált öntözővíz laborvizsgálati eredményei a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendeletbe foglalt előírások és paraméterek legtöbbjének megfelelt *(8. táblázat)*.

8. táblázat: Vízvizsgálati eredmények

Vizsgált paraméter	Talajvíz	Öntözővíz
pH	8,01	7,36
Vezetőképesség mS/cm	9,97	0,5
Sótartalom mg/l	6380	723
Ca^{2+} mg/l	46,7	65,2
Ca^{2+} mgeé/l	2,33	3,25
Mg^{2+} mg/l	226	44,1
Mg^{2+} mgeé/l	18,6	3,63
Na^{+} mg/l	2420	158
Na^{+} mgeé/l	105	6,87
K^{+} mg/l	5,89	2,2
K^{+} mgeé/l	0,151	0,056
NH_4^{+} mg/l	< 0,10	< 0,10
NH_4^{+} mgeé/l	< 0,01	< 0,01
Kation SZUM mgeé/l	126	13,8
NO_3^{-} mg/l	49,9	16,6
NO_3^{-} mgeé/l	0,805	0,268
NO_2^{-} mg/l	< 0,15	< 0,15
NO_2^{-} mgeé/l	< 0,003	< 0,003
HCO_3^{-} mg/l	941	536
HCO_3^{-} mgeé/l	15,4	8,78
Cl mg/l	2380	40,7
Cl mgeé/l	67,1	1,15
PO_4^{3-} mg/l	< 0,01	< 0,01
PO_4^{3-} mgeé/l	< 0,001	< 0,001
SO_4^{2-} mg/l	1870	175
SO_4^{2-} mgeé/l	38,9	3,63
Anion SZUM mgeé/l	122	13,8
Össz. keménység CaO mg/l	592	194
Szóda eért. mgeé/l		1,9
Na% x x	83,3	38,2
Mg% x x	88,9	52,8
SAR x x	32,4	3,7

Az öntözővíz kevert anion típusú, az EC = 0,5 mS/cm, vagyis 0,78 – 1,56 mS/cm intervallumba esik. A SAR érték 3,7, azaz <6,5; a kémhatás 7,36, tehát 6,5–8,4 pH érték közé

esik, a magnézium tartalom 52.8%, vagyis >50%, a nátrium mennyisége 40% alatt maradt (38,2%). A kloridion mennyisége közepes (40,7 mg/l), vagyis nem toxikus.

A talajvíz sótartalma 6380,0 mg/l, nitrát-tartalma 49,9 mg/l. A sótartalom igen magas, az SAR érték 32,4, a Na% 83,3%, a Mg% 88,9%. A talajvíz összetétele igen kedvezőtlen (erősen szikesítő hatású), magas az összes só- és nátriumtartalma, amely felemelkedve a mélyebb rétegek másodlagos szikesedését fokozza. Ugyanakkor a víz szikesítő hatása szempontjából nem a Na-ionok mennyisége, hanem a többi kationhoz viszonyított részaránya a döntő. Az öntözővíz EC =0,5 mS/cm és a Na aránya 40% alatt maradt, így az öntözővíz hígítás nélkül felhasználható, azonban idényen kívül az állóvizekben a sók bekoncentrálódnak, ezért a túlöntözést feltétlen el kell kerülni.

PATAY (2015) az öntözővíz minőségével kapcsolatos tapasztalatokat az alábbiakban összegzi:

- Míg a kémiai szennyezők elsősorban a talaj szempontjából fontosak, addig a mechanikai szennyezők többnyire az üzembiztonságot veszélyeztetik.
- Rendszeres öntözés esetén a káros hatások gyakran halmozottan jelentkeznek (sófelhalmozódás, kilúgzás).
- Mivel az öntözővíz kezelése nehezen megoldható, ezért jó minőséget biztosító vízforrást célszerű választani.
- Az öntözővíz mechanikai kezelésének szükségességét az öntözőberendezés érzékenysége határozza meg. A vízszűrés a magas energiaárak miatt nem gazdaságos.

4.3. A talaj kémiai és fizikai jellemzőiben bekövetkezett változások

4.3.1. Az öntözési módok hatása a talaj kémiai tulajdonságaira

Az öntözési beruházást megelőző talajvizsgálati eredmények és a már többéves öntözési tevékenységet követő vizsgálatok eredményei között kimutatott eltérések jól tükrözik a vizsgálati parcellán bekövetkezett változásokat. Az összehasonlításhoz a különböző időpontokban egymáshoz közel feltárt szelvényekből párok kerültek kialakításra. A korábbi és későbbi időpontban vett mintákból kialakított szelvénypárok alapján a következő megállapítások tehetők.

A nem öntözött szelvénynél a talaj kémhatása 60 cm mélységig gyengén lúgos, mélyebben lúgos, illetve erősen lúgos (pH-H_2O 8,3-9,2), a korábbi vizsgálat során a pH 95 cm mélységig gyengén lúgos (pH-H_2O 8,1-9,31), pH lefutása hasonló mélységgel nő. A vízoldható só a felső 60 cm-ben kisebb, mélyebben minden rétegben nagy mennyiségben van jelen (0,02-

0,34% só), 120 cm-től a talaj sós (>0,15% só). Az alapozó vizsgálatkor 95 cm mélységig 0,05-0,06%, míg mélyebben 0,22% só volt. A művelt rétegben kisebb a sótartalom, mint 2007-ben, de a szelvény egészét értékelve a sóprofilban nincs érdemi változás. A talaj a felszíntől meszes, 60 cm-ig kis-, mélyebben nagy mennyiségben volt mérhető a mész (4,3-27,3%). A korábban felvételezett szelvény rétegeiben kevesebb mész volt (2,0-13,5% mész). A szóda mindkét vizsgálatkor 90 cm alatt volt mérhető jelentős mennyiségben (utóbb 0,201%, korábban 0,111%), a talaj mélyben szolonyeces. A nitrát-nitrit-N maximuma a felszínhez közel, a 60-90 cm-es rétegben van. A kationcsere vizsgálata 5 rétegből történt, a felső három rétegben az S-érték százalékában kifejezve 80% feletti, illetve ahhoz közeli a kalcium részesedése, majd a talajképző kőzetben 50% körüli értékre csökken. A magnézium részesedése 8%-ról 38%-ra nő, a nátriumé pedig 1% körüli értékről 10% fölé (0,76-10,78%). A talaj mélyben szolonyeces, a talajképzőben a Na részesedése meghaladja az 5%-ot. Korábban csak a 95-140 cm-es rétegből volt kicserélhető kation vizsgálat, e rétegben a Ca részesedése 50% alatt, a magnéziumé és a nátriumé 30% közelében volt. Érdemi változás nincs a kationok megoszlásában, a talaj 90-95 cm mélységig mésszel telített, mélyebben szikes (mélyben szolonyeces). A szelvényben végzett vizsgálatok eredményeit a *9. táblázat* foglalja össze.

9. táblázat: Nem öntözött (NÖ) szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016

Minta jele	Mélység (cm)	pH (H_2O)	Lúgosság %m/m	K_A	Össz. só %m/m	$CaCO_3$ %m/m	Humusz %m/m	(NO_3+NO_2)-N (KCl) mg/kg
NÖ-1	0-30	8,3	0	44	0,02	4,3	2,82	3,1
NÖ-2	30-60	8,4	nyom.	46	0,06	8,9	2,41	6,9
NÖ-3	60-90	8,8	nyom.	51	0,13	15,2	1,73	16,0
NÖ-4	90-120	9,1	0,201	43	0,21	22,5	0,96	6,5
NÖ-5	120-150	9,2	nyom.	49	0,34	27,3	0,42	2,8

A lineárral öntözött szelvényben a vízoldható só a felső 60 cm-ben kis-, mélyebben minden rétegben nagy mennyiségben van jelen (0,03-0,4% só), 60 cm-től a talaj sós (>0,15% só). Az alapozó vizsgálatkor 90 cm mélységig 0,06%, míg alatta 0,24-0,28% só mérődött (*10. táblázat*). A művelt rétegben kisebb a sótartalom, mint 2007-ben, de a szelvény egészét értékelve a sóprofilban nincs érdemi változás. A talajfelszíntől meszes, 60 cm-ig kis-, mélyebben nagy mennyiségben találunk meszet (4,2-23,1%). A 2007-ben felvételezett szelvénynél hasonló mennyiségű mész mérődött (3,0-24,9% mész). A szóda mindkét vizsgálatkor 120 cm alatt mérődött jelentős mennyiségben (most 0,186%, korábban 0,095%), a talaj mélyben szolonyeces.

10. táblázat: A lineárral öntözött szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016

Minta jele	Mélység (cm)	pH (H_2O)	Lúgosság m/m%	K_A	Össz. só m/m%	$CaCO_3$ m/m%	Humusz m/m%	(NO_3+NO_2)-N (KCl) mg/kg
LÖ-1	0-30	8,3	nyom.	42	0,03	4,2	3,26	3,7
LÖ-2	30-60	8,5	nyom.	40	0,06	7,4	2,41	4,7
LÖ-3	60-90	8,6	nyom.	52	0,19	16,9	1,33	12,0
LÖ-4	90-120	9,0	nyom.	52	0,27	22,7	0,84	8,6
LÖ-5	120-150	9,4	0,186	55	0,40	23,1	0,52	2,2

Az öntöződobbal öntözött szelvényben a kémhatás 60 cm mélységig gyengén lúgos, a 60-90 cm-es rétegben lúgos, a talajképző rétegben erősen lúgos (*11. táblázat*). A megalapozó vizsgálatnál a pH 90 cm mélységig gyengén lúgos, mélyebben lúgos, 90 cm mélységtől erősen lúgos volt (vizes pH 8,3-9,19). A pH lefutása a mélységgel növekedett. A vízoldható só a felső 60 cm-es rétegben kis-, mélyebb rétegben nagy mennyiségben van jelen (0,03-0,34% só), 90 cm-től a talaj sós (>0,15% só). A korábbi vizsgálat során a 90 cm mélységig 0,06%, míg alatta 0,24-0,28% só volt mérhető. A művelt rétegben kisebb a sótartalom, mint korábban, de a szelvény egészét értékelve a sóprofilban nem tapasztalható érdemi változás.

11. táblázat: A dobbal öntözött szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016

Minta jele	Mélység (cm)	pH (H_2O)	Lúgosság m/m%	K_A	Össz. só m/m%	$CaCO_3$ m/m%	Humusz m/m%	(NO_3+NO_2)-N (KCl) mg/kg
DÖ-1	0-30	8,4	nyom.	44	0,03	6,1	2,90	2,8
DÖ-2	30-60	8,2	nyom.	48	0,09	8,7	2,75	16,5
DÖ-3	60-90	8,6	nyom.	48	0,16	19,9	1,33	14,3
DÖ-4	90-120	9,4	nyom.	45	0,27	27,5	0,51	3,4
DÖ-5	120-150	9,5	0,175	56	0,34	22,7	0,36	2,8

A vizsgált időszakban nem következett be káros sófelhalmozódás, továbbá kilúgzásra és a kationok megoszlásának érdemi változására utaló jelek sem voltak megfigyelhetők (*12. táblázat*). A felső (0-30 cm) rétegben Ca^{2+} aránya 90% fölött volt mérhető, amely arány a mélység felé haladva egyre csökkent. Az alsóbb rétegekben elsősorban a Mg^{2+}, illetve a Na^{+} aránya növekedett meg, amely arányok a 120-150 cm-es rétegben már 37,28, illetve 10,78%-ot tettek ki. Ezen kationok megnövekedett aránya a szikesedés kockázatára utal, amelyet az öntözési normák tervezése során nem lehet figyelmen kívül hagyni. A korábbi szelvények talajrétegeihez tartozó értékekhez képest nem következett be markáns változás a fizikai- és kémiai tulajdonságokban.

12. táblázat: Kationok megoszlása

Mélység	Kicserélhető kationok cmol/kg				S érték cmol/kg	Kicser. Ca%	Kicser. Mg%	Kicser. K%	Kicser. Na%
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}		S érték %-ában			
0-30	30,5	2,37	0,44	0,25	33,11	90,76	7,16	1,33	0,76
30-60	28,44	2,90	0,15	0,30	31,79	89,46	9,12	0,47	0,94
60-90	18,97	4,98	0,13	1,35	25,43	74,60	19,58	0,51	5,31
90-120	11,58	7,55	0,12	0,75	20,00	57,90	37,75	0,60	3,75
120-150	9,50	6,92	0,14	2,0	18,56	51,19	37,28	0,75	10,78

A (DÖ) és a (LÖ) kezelések sóprofiljában nem tapasztaltam markáns eltérést. Ennek a magyarázta egyérészt az, hogy az öntözési idényben törekedtek azonos vízmennyiségeket kijuttatni mindkét metódussal, másrészt az időszakosan magasan elhelyezkedő talajvíz kiegyenlítő hatásával is számolni kell. MAO et al. (2022) kísérleteikben igazolták, hogy az oldalirányú vízmozgások korlátozott öntözési körülmények között a talaj sótartalmát 30-40%-kal csökkentik.

4.3.2. A felszíntakarás hatása a talaj kémiai tulajdonságaira

A takart kezelések minden vizsgálati évben azonos helyeken kerültek kialakításra, vagyis a vizsgálat időpontját megelőző évben is takart volt az adott terület. A talaj kémhatása pH (KCl) minden mintában homogén volt, 7,38 (DÖ-NT) és 7,48 (LÖ-NT) között volt. A gyengén lúgos kémhatást kedvelik általában a talajok számára hasznos mikroorganizmusok, így a nitrogénmegkötő baktériumok is. A gazdasági növények érzékenysége a lúgosság iránt különböző, általában a gyengén savanyú és semleges körüli kémhatás a legkedvezőbb számukra. A humusztartalom ugyancsak viszonylag homogén volt 2,38 és 2,69% között fordult elő. A legalacsonyabb értéket a dobos öntözéssel ellátott nem takart (DÖ-NT) részeken, a humusztartalom legmagasabb értékét pedig a lineárral öntözött nem takart (LÖ-NT) területen mértem. A talajszerkezet kialakításában a humuszanyagok és a talaj szerves anyagai általában a biológiai tényezők közvetítésével vesznek részt. A $CaCO_3$ tartalom ugyancsak homogén volt 2,08 (DÖ-NT) és 4,4% (LÖ-NT) között, ez alapján a vizsgált talaj a gyengén meszes kategóriába sorolható. A megfelelő szénsavas mésztartalom kedvezően befolyásolja a talajok víz-, hő-, és levegőgazdálkodását, valamint ezen keresztül a tápelemek feltáródásához elengedhetetlen mikrobiológiai folyamatokat. Emellett részt vesz a talaj megfelelő szerkezeti kialakításában is, továbbá hatással van a kémhatásra, ezen keresztül a különböző tápelemek felvehetőségére.

A nitrát-nitrit-N tartalom 13,9 és 16,8 mg/kg között változott. A talaj nitrogénellátottsága a humusztartalom alapján közepesnek értékelhető. A talaj

foszfortartalmának értékelése során megállapítható, hogy egy esetben alacsony, 126 mg/kg értéket mértünk az LÖ-NT minta esetében, a többi mintában a foszfortartalom közepesnek ítélhető meg. A talaj foszfortartalmának 30-40%-a szerves kötésben van, ennek a jelentős része növényi maradványokból és a mikroorganizmusok élettevékenységéből származik. Közepes foszfortartalom esetében alaptrágyaként érdemes foszfor műtrágyát kijuttatni. A kálium tartalom 240 – 335 mg/kg között alakult. Az LÖ-NM kezelés esetében gyenge, a DÖ-M: 260 mg/kg és az LÖ-M: 264 mg/kg esetében közepes, a többi minta értékei a megfelelő kategóriába esnek. A magnézium tartalom homogénnek és jól ellátottnak tekinthető. Bár a mangántartalom is homogénnek tekinthető, a talaj ellátottsága kielégítőnek minősül. Kiegyensúlyozott mikroflóra kialakulásához szükséges lehet mikrobiológiai készítmények alkalmazása (*13. táblázat)*.

13. táblázat: A kísérleti parcellák talajkémiai jellemzői

Kezelések	pH (KCl)	Humusz %	$CaCO_3$ %	$NO_3^- + NO_2^-$ mg/kg	P_2O_5 mg/kg	K_2O mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	Mn mg/kg
NÖ-M	7.44	2.58	4.32	16.8	178	335	115	92.5	193
LÖ-M	7.43	2.53	3.57	11.3	182	264	100	51.9	211
DÖ-M	7.42	2.48	4.32	14.3	188	260	97	45.2	193
NÖ-NM	7.41	2.60	3.65	14.8	166	323	112	59.5	236
LÖ-NM	7.48	2.69	4.40	13.9	126	240	103	134	216
DÖ-NM	7.38	2.38	2.08	16.1	241	313	106	61.9	209

Jelölések: NÖ: nem öntözött; LÖ: lineár öntözés; DÖ: dobos öntözés; M: mulcsozott; NM: nem mulcsozott

Az eredmények értékelésénél figyelembe vettem a viszonylag rövid időtartamot. A mulcsozott (M) és nem mulcsozott (NM) parcellák között kémiai tulajdonságokban azért nem tudtam jelentős eltéréseket kimutatni, mert ehhez nem állt rendelkezésre elég idő a kísérletem három évében. CHEN et al. (2021) tizennégyéves kísérlet során igazolták a szalmatakarás talaj fizikai és kémiai tulajdonságokra gyakorolt kedvező hatásait. Példaként említik a megnövekedett mikroba közösségeket; az extracelluláris aktivitást; a nedvességtartalmat; a szerves szént, a felvehető nitrogén, foszfor és káliumtartalmat; a gram-negatív baktériumokat és a gombákat.

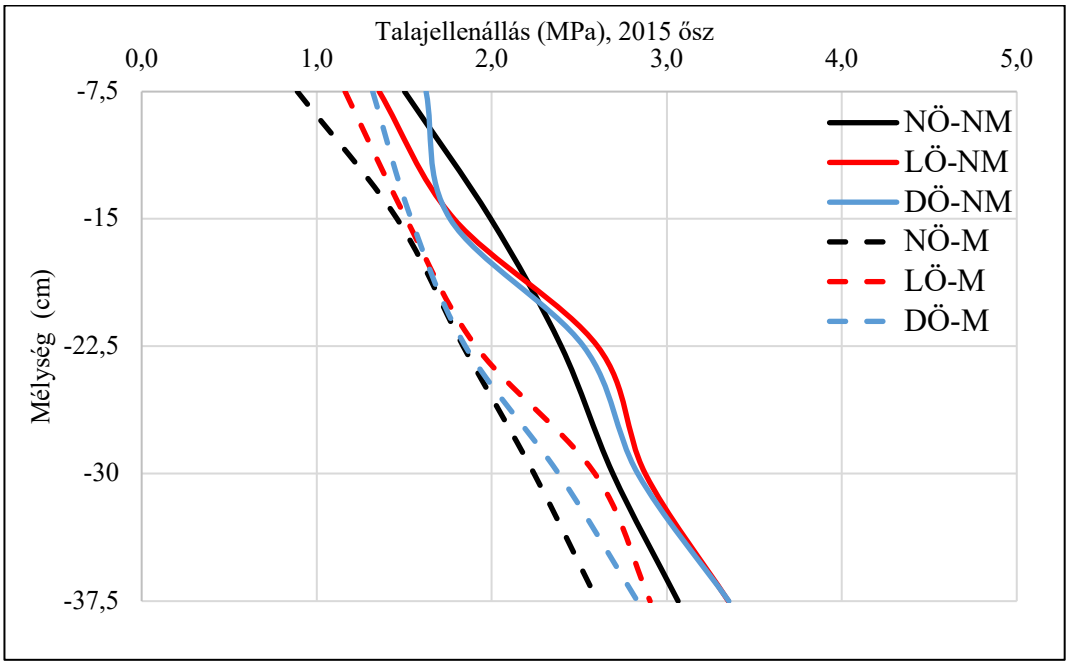
4.3.3. Az öntözés és a felszíntakarás hatása a talajellenállásra

A kísérlet során 2015-2018 között összesen hat alkalommal (három őszi és három nyári időpontban) vizsgáltam meg a talajellenállás értékeket. Minden kezelésből négy-négy ponton vettem fel mérési adatokat. A terepi mintavételből származó adatok statisztikai feldolgozását a *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA eredmények) módszerrel végeztem el. Az eredményeket az *M.3.4. – M.3.9. táblázatok* foglalják

össze, amelyekben az időpontok és a mélységek szerint eltérő faktorok hatásait hasonlítottam össze.

Az *M.3.4. táblázatban* a 2015. őszi adatok alapján megfigyelhető, hogy az öntözési módoknak statisztikailag igazolható hatásuk (p<0,01) volt a (0-7.5; 15-22.5; 22.5-30 és 30-37.5) cm rétegben. Ugyanakkor a takarási mód statisztikailag igazolható hatást (p<0,01) eredményezett minden mélységben. A statisztikailag igazolható különbségeket a *11. mellékletben* összesítettem.

A (*Tests of Between-Subjects Effects)* vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA eredményei alapján az öntözési módnak csupán a 7,5-15 cm rétegben nem volt szignifikáns hatása. A *25. ábrán* megfigyelhető, hogy ebben a rétegben NÖ-M kezelés talajellenállás értékei kedvezőbben, amíg ugyanitt NÖ-NM kedvezőtlenebbül alakult a többi kezeléshez képest. Ugyanakkor kizárólag ebben a rétegben volt kimutatható az öntözési mód × takarás együttes hatása (p<0,01). Továbbá a talajtakarás jelentős hatása minden rétegben egyértelműen megmutatkozott (p<0,01) volt.



25. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2015 ősz.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott, n=4.

A post hoc próbák (*14. táblázat*) eredményei alapján a 0-7,5 cm rétegben a legnagyobb talajellenállás értéket a dobbal öntözött, nem mulcsozott (DÖ-NM), talajban mértem (1,63 MPa), amely jelentősen eltért (p<0,05) a lineárral öntözött, nem mulcsozott (LÖ-NM) talaj eredményeitől (1,36 MPa). Az öntözetlen (NÖ) kezelés értéke ebben a rétegben egyik öntözési

kezelés (LÖ; DÖ) értékeitől sem tért el szignifikáns mértékben. A 7,5-15 cm rétegben viszont az öntözetlen (NÖ) kezelés talajellenállás értéke (1,99 MPa) jelentősen meghaladta mindkét öntözési kezelés (LÖ; DÖ) eredményeit (1,76; 1,78). A két öntözött kezelés (LÖ; DÖ) eredményei ebben a rétegben és a mélyebb rétegekben is hasonló értékeket mutattak. A 22,5 cm rétegtől lefelé már egyik öntözési kezelés sem különbözött jelentős mértékben egymástól.

14. táblázat: A 2015. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
	N		
Öntözési mód		1	2
lineár (LÖ)	4	1.3575	
öntözetlen (NÖ)	4	1.5025	1.5025
dobos (DÖ)	4		1.6250
Sig.		0.199	0.298
(-15 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
	N		
Öntözési mód		1	2
dobos (DÖ)	4	1.7625	
lineár (LÖ)	4	1.7850	
öntözetlen (NÖ)	4		1.9950
Sig.		0.933	1.000

Mélyebb rétegekben (22,5-37,5 cm) a NÖ-NM kezelésben alacsonyabb értékeket mértem, mint az öntözött talajokban (LÖ-NM és DÖ-NM). Károsan tömör állapot (>3 MPa) a legmélyebb rétegben (30-37,5 cm) volt észlelhető. A művelt talajok tömörödését BOGUNOVIĆ at al. (2019) az emberi tevékenység következményeként írták le, ugyanakkor megjegyezték, hogy a talajok leromlása leginkább a talajtömörödés miatt következik be. A vizsgált területen tapasztalt talajtömörödés okai egyrészt a művelési eredetű hibákra, másrészt az öntözés hatására vezethető vissza. A *3. táblázat* szerint a középmély lazítás csupán 30-cm-es mélységben lett a táblán elvégezve, így a már kialakult eketalpréteget ez az agro-technológiai eljárás nem volt képes megszüntetni.

A mulcsozott (M) parcellák minden rétegben kedvezőbb talajellenállás értékeket mértem a nem mulcsozott (NM) kezelésekhez képest. A nemzetközi szakirodalomban számos utalás található (SHARMA et al. 1990; MULUMBA és LAL 2008; NAWAZ et al. 2017) a mulcs pozitív hatásairól.

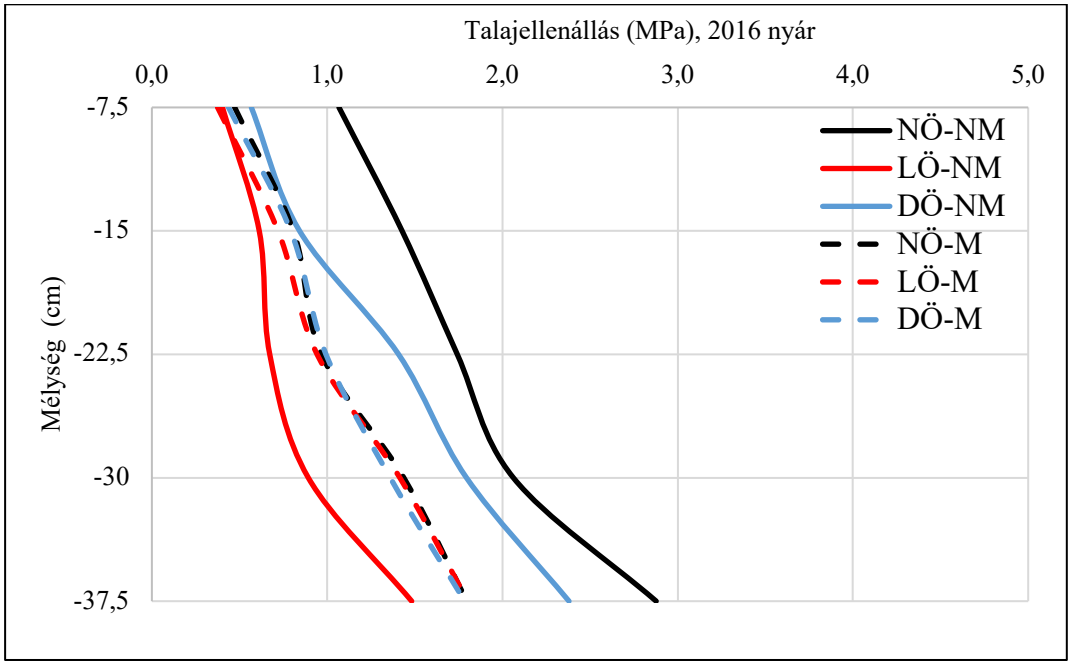
2015-ben a legfelső 0-75 cm rétegben a legalacsonyabb talajellenállás értéket a nem öntözött, mulcsozott (NÖ-M), talajban (0,89 MPa) tapasztaltam. Ehhez képest a lineárral öntözött, mulcsozott (LÖ-M) talajban (1,16 MPa) és a dobbal öntözött, mulcsozott kezelésben

(DÖ-M) (1,32 MPa) statisztikailag igazolható különbséggel (p<0,05) mértem tömörebb állapotot. A 22,5-30 cm rétegben az öntözetlen kezelés (NÖ) értékét (2,24 MPa) jelentősen (p<0,05) meghaladta a lineárral öntözött (LÖ) kezelés eredménye (2,59 MPa). Ebben a mérési időszakban legnagyobb értéket (2,91 MPa) LÖ-M talajban mértem a 30-37,5 cm rétegben a mulcsozott kezelések közül, amely kissé (p<0,05) eltért a NÖ-M értékeitől (2,60 MPa), Az LÖ és DÖ kezelések talajellenállás értékei egyik rétegben sem különböztek egymástól szignifikáns (p<0,05) mértékben (*15. táblázat*).

15. táblázat: A 2015. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

2015 ősz (-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
	N		
Öntözési mód		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	0.8900	
lineár (LÖ)	4		1.1625
dobos (DÖ)	4		1.3200
Sig.		1.000	0.115
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
	N		
Öntözési mód		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.2425	
dobos (DÖ)	4	2.3825	2.3825
lineár (LÖ)	4		2.5900
Sig.		0.238	0.067
(-37.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
	N		
Öntözési mód		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.6050	
dobos (DÖ)	4		2.8325
lineár (LÖ)	4		2.9050
Sig.		1.000	0.559

A 2016 nyári időszakban mért talajpenetrációs értékeket a *26. ábra* mutatja, amelyből megállapítható, hogy a 7,5-15 cm rétegtől lefelé haladva a legkedvezőbb talajellenállás értékeket az LÖ-NM esetében kaptam mind a mulcsozott (M), mind a nem mulcsozott (NM) kezelések vonatkozásában. A *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA) eredményeit az *M3.5. táblázatban*, az öntözési kezelésekre vonatkozó ANOVA eredményei az *M3.11. táblázatban* tekinthetők meg.



26. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2016 nyár.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott, n=4

A vetőmagkukorica termesztésének évében (2016) nyáron a NÖ-NM kezelésben a talaj penetrációs ellenállása minden mélységben magasabb, statisztikailag igazolható ($p<0,01$) különbséget mutatott az LÖ-NM és DÖ-NM kezelésekhez képest. Az öntözés és a hozzá kapcsolódó megnövekedett földhasználati intenzitás megváltoztathatja a talaj fizikai tulajdonságait. Figyelembe kell venni az öntözés által megnövekedett talajnedvességet is, amely hatására csökken a talaj ellenállása. SOUZA et al. (2021) vízszabályozott környezetben, nedves körülmények között az átlagos talajellenállást 2,8 MPa-nak, míg a száraz időszakban 14,4 MPa-nak mérték.

Az ide vonatkozó post hoc próbák eredményeit a *16. táblázat* foglalja össze. A 0-7,5 cm rétegben nem volt kimutatható különbség LÖ és DÖ kezelések értékei (0,40 MPa; 0,56 MPa) között, statisztikailag igazolható eltérés csak az NÖ kontrollhoz képest volt kimutatható a két öntözött kezelésekhez képest. Ellenben a mélyebb rétegben a DÖ kezelés eredményei jelentősen ($p<0,05$) magasabbak voltak LÖ kezelés értékeihez képest, így mindhárom öntözési kezelés (LÖ; DÖ; NÖ) ettől a rétegtől egymáshoz viszonyítva statisztikailag igazolható különbséggel ($p<0,05$) tért el egymástól. A legalacsonyabb értékeket a LÖ-NM kezelésben mutattam ki 1,48 MPa értékkel a 0-7,5 cm rétegben, a legmagasabb értéket pedig a 30-37,5 cm rétegben az NÖ-NM kezelésben mértem (2,88 MPa).

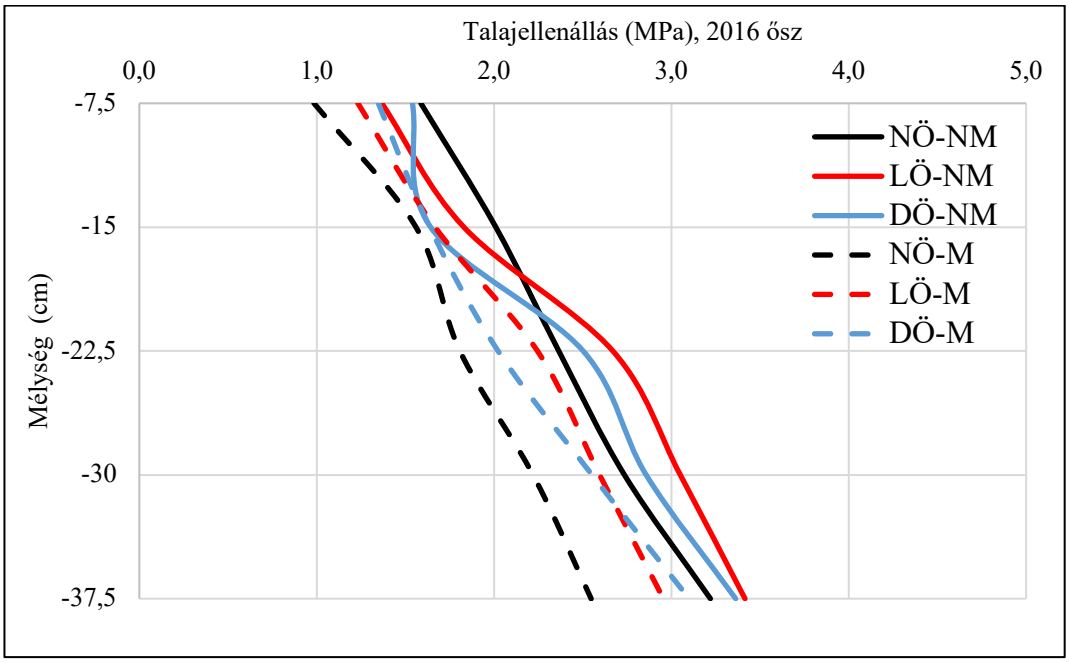
16. táblázat: A 2016. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	0.4025		
dobos (DÖ)	4	0.5675		
öntözetlen (NÖ)	4		1.0675	
Sig.		0.119	1.000	
(-15 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.6125		
dobos (DÖ)	4		0.8425	
öntözetlen (NÖ)	4			1.4275
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.6725		
dobos (DÖ)	4		1.4075	
öntözetlen (NÖ)	4			1.7425
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.8925		
dobos (DÖ)	4		1.7950	
öntözetlen (NÖ)	4			2.0625
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	1.4825		
dobos (DÖ)	4		2.3800	
öntözetlen (NÖ)	4			2.8775
Sig.		1.000	1.000	1.000

A mulccsal takart (M) öntözési kezelések minden rétegben hasonló értékekkel rendelkeztek 0,38-1,80 MPa tartományon belül. A lefutások minden rétegben és minden kezelésben gyakorlatilag megegyeztek egymással. 2016-ban a nyári mintavételt június 10-én végeztem el, eddig az időpontig az öntözött parcellákon 35 mm vízpótlás történt, vagyis ennyivel több vízzel rendelkeztek a nem öntözötthöz (NÖ) képest. A mulcsozás kiegyenlítő hatásának köszönhetően a talajellenállás értékekben nem alakultak ki szignifikáns eltérések. MU et al. (2016) a Wen megyei kísérleti állomáson 2010 októbere és 2013 szeptembere között

háromméves szántóföldi kísérletet végeztek, amely alapján a takart kezelésben alacsonyabb talajellenállást tapasztaltak a takaratlanhoz képest.

A 2016. őszi időszak talajellenállás értékeit a *27. ábra* szemlélteti. Az ANOVA *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA) eredményeit az *M3.6. táblázatban*, az öntözési kezelések hatását az *M3.12. táblázatban* összesítettem.



27. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2016 ősz.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott; NT-nem taposott, n=4.

Minden mélységben kimutatható volt statisztikailag igazolható különbség ($p<0,01$) az öntözési kezelések között, hasonlóan a takarási módok talajellenállásra gyakorolt hatásához. Ugyanakkor az öntözés × taposás együttes hatása csak a 0-7,5 cm és 30-37,5 cm-es rétegekben volt kimutatható (*M3.6. táblázat)*.

A vizsgálati időszak legkedvezőtlenebb értékét a 0-7,5 cm rétegben a NÖ-NM kezelésben tapasztaltam. Ugyanakkor -22,5 cm-től lefelé haladva mind a mulcsozott (M), mind a nem mulcsozott (NM) kezelésekben a nem öntözött parcellából (NÖ) származtak a legkedvezőbb értékek. Mélyebb rétegekben a legnagyobb talajellenállás értékeket az öntözött talajokban mértem, különösen a LÖ-NM kezelésben (2,67; 3,05 és 3,42 MPa). A kétféle öntözési kezelés összehasonlításakor megállapítható, hogy a felszínközeli rétegben (0-7,5 cm) DÖ-NM talaj volt tömörebb, vagyis a dobos öntözés következtében ez a réteg vált tömörebbé (+0,17 MPa). A mélyebb rétegekben ellenkezőleg, a DÖ-NM kezelés mutatott kedvezőbb értékeket (-0,19; -0,17; -0,19 és -0,06 MPa) az LÖ-NM kezeléshez képest. NANKO et al.

(2015) vizsgálatai kimutatták, hogy a nyári öntözési időszakot követően a kijutatott öntözővíz mozgási ereje miatt fokozott mértékű ülepedés következik be, ezért a talajellenállás értékek megnövekednek. A méréseim alapján arra a megállapításra jutottam, hogy a LÖ kezelés által biztosított lassúbb beszivárgás az őszi időszakban a mélyebb rétegek nagyobb mértékű tömörödését okozza *(17. táblázat)*.

17. táblázat: A 2016. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-15 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
dobos (DÖ)	4	1.6425	
lineár (LÖ)	4	1.8300	1.83
öntözetlen (NÖ)	4		2.0100
Sig.		0.061	0.073
(-22.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.3650	
dobos (DÖ)	4	2.5025	2.5025
lineár (LÖ)	4		2.6700
Sig.		0.259	0.153
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.7350	
dobos (DÖ)	4	2.8575	
lineár (LÖ)	4		3.0500
Sig.		0.182	1.000

A mulcsozott talajokban (M) a legalacsonyabb talajellenállás értékeket minden mélységben az NÖ-M kezelések mutatták 0,99-2,55 MPa között, amely minden mélységben szignifikánsan eltért ($p<0,05$) a LÖ-M és DÖ-M értékeitől. Kivételt a 7,5-15 cm közötti réteg jelentett, ahol ugyancsak az NÖ-M kezelésben mutatkoztak a legkedvezőbb adatok, de statisztikailag szignifikáns értéket nem érték el (*18. táblázat*). Őszi időszakban a takarás kedvező hatásai ellenére a mélyebb rétegekben az öntözés kedvezőtlen talajtömörítő hatásai mulcsozás mellett is kimutathatók voltak.

Megfigyeléseim szerint egyik öntözési kezelésben sem alakult cserepes száradás a mulcsozott parcellákban, az öntözés talajszerkezetet romboló hatása kevésbé érvényesült. A mulcsozott (M) talajokban a felszín nyirkos maradt a következő öntözési körig. A méréseim és a tapasztalatok alapján úgy ítéltem meg, hogy a mulcsozott kezelésekben (M) a nedvesség térben és időben kedvezőbb eloszlást mutatott a nem mulcsozottakhoz (NM) képest. Ezzel

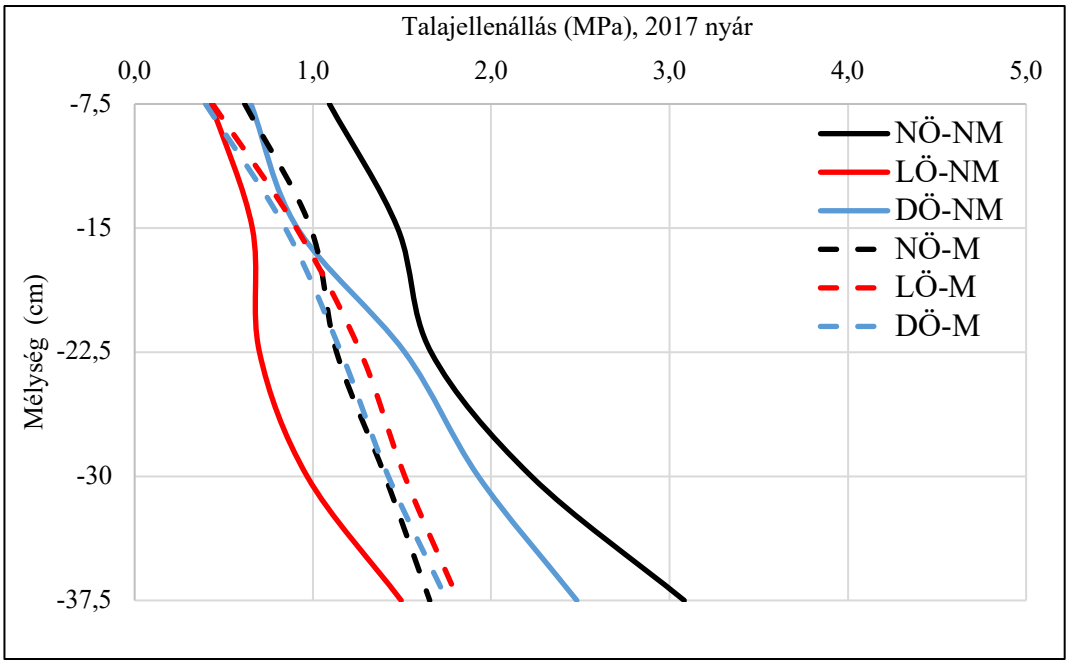
magyarázható, hogy kisebb eltérések alakultak ki a mulcsozott kezelések (M) talajtömörödési értékei között, a nem mulcsozott (NM) kezelésekhez képest. A mulcsozás olyan szigetelőréteget képez a talajfelszín és a légkör között, amely hatékonyan csökkenti nedvesség elpárolgását (ZRIBI et al. 2015). A vízmegőrzésen túl a szerves talajtakarás további kedvező hatásai között említi ADEKALU et al. (2007) a víz talajba történő beszivárgásának elősegítését, a felszíni erózió megelőzését, valamint a felszíni elfolyás csökkentését.

18. táblázat: A 2016. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	0.9850	
lineár (LÖ)	4		1.2325
dobos (DÖ)	4		1.3475
Sig.		1.000	0.261
(-22.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	1.8075	
dobos (DÖ)	4	2.0225	2.0225
lineár (LÖ)	4		2.2450
Sig.		0.113	0.100
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.2200	
dobos (DÖ)	4		2.5525
lineár (LÖ)	4		2.5950
Sig.		1.000	0.891
(-37.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	2.5475	
lineár (LÖ)	4		2.9550
dobos (DÖ)	4		3.1000
Sig.		1.000	0.160

Az ANOVA *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA) eredményeit az *M3.7. táblázatban*, az öntözési kezelések hatását az *M3.13. táblázatban* összesítettem. A 2017. évi nyári mintákban az öntözési, takarási és az öntözés × takarás együttes hatási között minden mélységben szignifikáns eltérés volt ($p<0,01$) kimutatható.

A 2017. évi nyári időszak talajellenállás értékeit a *28. ábra* szemlélteti. A legjelentősebb talajtömörödést ebben a mérési időpontban a NÖ-NM kezelésben tapasztaltam, a mért értékek 1,09-3,08 MPa között változtak. A felszíntől a mélyebb rétegek felé haladva a tömörödés mértéke fokozatosan növekedett, a legalsó rétegben már károsan tömörödöttnek volt tekinthető. A legkedvezőbb talajellenállás mutatók ugyancsak a nem mulcsozott (NM) talajokhoz kapcsolódtak. Az LÖ-NM kezelés a 7,5-15 cm rétegtől lefelé haladva minden rétegben kedvezőbbnek bizonyult az összes többi kezeléshez képest.



28. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2017 nyár.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott; NT-nem taposott, n=4.

A nem mulcsozott (NM) talajokban, a felső két rétegben (0-7,5 és 7,5-15 cm) és a legmélyebb rétegben (30-37,5 cm) mindhárom fő kezelés (NÖ, LÖ és DÖ) jelentősen eltért egymástól ($p<0,01$). Ugyanakkor a 15-22,5 cm és 22,5-30 cm-és rétegben a DÖ-NM és NÖ-NM között nem volt kimutatható szignifikáns különbség *(19. táblázat)*.

LIU et al. (2016) három egymást követő szezonban vizsgálták az öntözés talajellenállásra gyakorolt hatását nem mulcsozott körülmények között. Arra következtetésre jutottak, hogy csökkenteni kell az öntözés intenzitását mély talajművelést követően annak érdekében, hogy elkerülhető legyen a talajok gyors tömörödése. BUESA et al. (2021) megállapították, hogy a mulcsozás az öntözési rendszertől függetlenül javította a talaj vízgazdálkodását, továbbá csökkentette a talaj térfogattömegét. RIZEHBANDI et al. (2021) ezzel ellentétes eredményekről számoltak be. Méréseik szerint a szerves felszíntakarás szintjének növelésével

a talaj penetrációs ellenállása, a szerves széntartalom és a szakítószilárdság jelentősen nőtt. Ugyanakkor az aggregátum-stabilitás növekedésének következtében és a védőréteg vastagságával párhuzamosan a csökkent talajerózió mértéke. LIAO et al. (2021) szerint a szerves takarás hatékonyan csökkentette a párologtatást, ezáltal jelentősen növelte az öntözővíz-felhasználás hatékonyságát.

19. táblázat: A 2017. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B[a]		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.4300		
dobos (DÖ)	4		0.6525	
öntözetlen (NÖ)	4			1.0925
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-15 cm)				
Tukey B[a]		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.6600		
dobos (DÖ)	4		0.9125	
öntözetlen (NÖ)	4			1.4750
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-22.5 cm)				
Tukey B[a]		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	0.7000		
dobos (DÖ)	4		1.5150	
öntözetlen (NÖ)	4		1.6625	
Sig.		1.000	0.177	
(-30 cm)				
Tukey B[a]		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	0.9675		
dobos (DÖ)	4		1.9275	
öntözetlen (NÖ)	4		2.2250	
Sig.		1.000	0.061	
(-37.5 cm)				
Tukey B[a]		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	1.4950		
dobos (DÖ)	4		2.4800	
öntözetlen (NÖ)	4			3.0825
Sig.		1.000	1.000	1.000

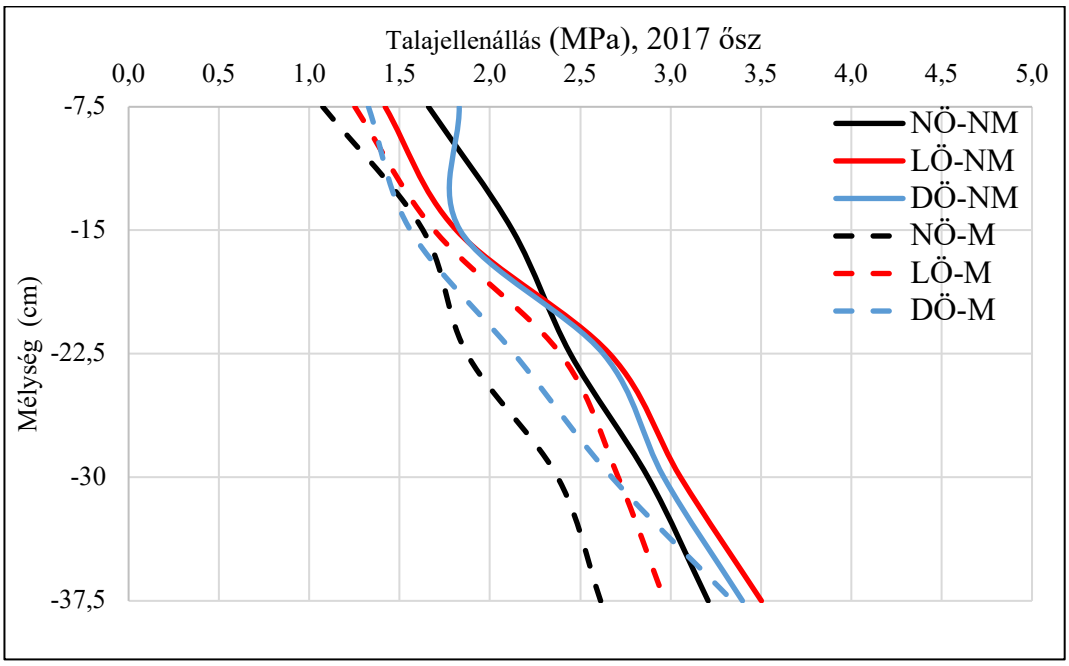
A mulccsal takart kezelések között jelentős eltérés ($p<0,01$) csak a felszín közeli rétegben (0-7,5 cm) volt kimutatható. A felső 0-15 cm-es réteg a NÖ-M kezelésben magasabb talajellenállás értékekkel rendelkezett az öntözött talajoknál, ezen belül a 0-7,5 cm legfelső

rétegben volt szignifikáns az eltérés *(20. táblázat)*. Mélyebb rétegekben az öntözött kezelések már magasabb talajellenállás értéket mutattak, ugyan nem jelentős mértékben. Fontosnak tartom kiemelni, hogy a lineárral öntözött, nem mulcsozott (LÖ-NM) talajállapot értékek kedvezőbben alakultak a mulccsal takart kezeléseknél (NÖ-M; LÖ-M és DÖ-M).

20. táblázat: A 2017. nyári, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
dobos (DÖ)	4	0.3975	
lineár (LÖ)	4	0.4375	
öntözetlen (NÖ)	4		0.6175
Sig.		0.742	1.000

A 2017. évi őszi időszak talajellenállás értékeit a *29. ábra* mutatja. Az ANOVA *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA) eredményeit az *M3.8. táblázatban*, az öntözési kezelések hatását az *M3.14. táblázatban* összesítettem.



29. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2017 ősz.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott; NT-nem taposott, n=4.

Az utolsó őszi mintavételi időpontban, 2017 évben a nem mulcsozott (NM) talajok közül a felszín közeli 0-7,5 cm-es rétegek közül a DÖ-NM kezelésben mértem a legmagasabb talajellenállás értéket (1,83 MPa), a legalacsonyabb értéket pedig a (1,42 MPa) LÖ-NM kezelésben mértem. Statisztikailag igazolható különbség ($p<0,05$) mindhárom kezelés között

kimutatható volt a 0-7,5 cm rétegben *(21. táblázat)*. A 7,5-15 cm rétegben a kontrol NÖ jelentősen (p<0,05) eltért mindkét öntözési kezeléstől, azonban a legalsó rétegben (30-37,5 cm) már csak a NÖ és LÖ kezelések között volt kimutatható szignifikáns különbség. Megfigyelhető továbbá, hogy a mélyebb rétegben (15-22,5; 30-37,5 cm), hasonlóan az előző őszi méréshez, az öntözött kezelésekben jelentősebb volt a talaj tömörödése, mint a nem öntözöttekben, mind a mulcsozott (M), mind pedig a nem mulcsozott talajokban (NM). A legmagasabb értéket (3,50 MPa), a legmélyebb rétegben (30-37,5 cm) mértem a LÖ-NM kezelés talajában.

Mindhárom őszi adatsor összehasonlításakor látható, hogy a 15-22,5 cm rétegtől lefelé haladva, vagyis a mélyebb rétegekben az LÖ kezelés mellett jelentkezett a legnagyobb mértékű talajtömörödés. A két öntözéses kezelés esetében nem minden esetben volt kimutatható a szignifikáns eltérés ezekben az alsó rétegekben, azonban az LÖ és NÖ kezelések vonatkozásában minden évben szignifikáns különbségeket tapasztaltam. Amíg az öntözővíz lassú beszivárgása nyáron a lineár öntözésnek (LÖ) előnyt biztosított a többi (DÖ, NÖ) kezeléshez képest, addig őszre negatív hatásként a mélyebb talajrétegek fokozott tömörödését okozta.

21. táblázat: A 2017. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	1.4200		
öntözetlen (NÖ)	4		1.6600	
dobos (DÖ)	4			1.8300
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-15 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	1.8150		
dobos (DÖ)	4	1.8350		
öntözetlen (NÖ)	4		2.1250	
Sig.		0.972	1.000	
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	4	3.2075		
dobos (DÖ)	4	3.3975	3.3975	
lineár (LÖ)	4		3.5025	
Sig.		0.060	0.345	

A lineárral öntözött, de mulccsal fedett (LÖ-M) kezelés talaja -0,53 MPa-lal alacsonyabb értéket mutatott a legfelső rétegben a lineárral öntözött, de mulcsal nem fedett kezelés talajához

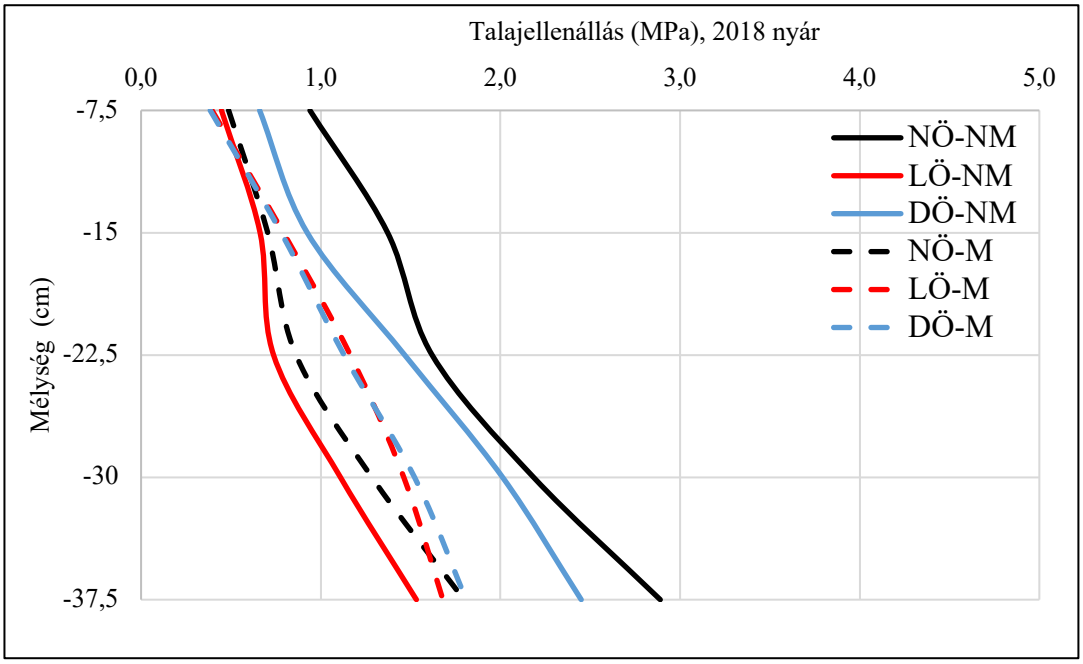
képest. Ezt a kedvező hatást ismételten a szerves talajtakarásnak tulajdonítottam. Ebben a mérési időszakban ugyancsak kifejeződött a talajtakarás kedvező hatása, amely fizikai védelmet nyújtott a párolgási veszteséggel szemben, így a magasabb talajnedvességi értékek mellett alacsonyabb talajellenállás értékeket kaptam. Eredményeim megegyeznek DEAN és MERRY (2015) véleményével, akik szerint a mulcsozott kezelések alacsonyabb talajellenállás értékeket adtak a nem mulcsozott kezelésekhez képest.

Két rétegben (15-22,5 cm és 30-37,5 cm) mindhárom öntözési (LÖ, DÖ, NÖ) kezelés jelentős mértékben eltért egymástól, ugyanakkor 7,5-15 cm rétegben egyik kezelés értékei között sem lehetett szignifikáns eltérést kimutatni. A 0-7,5 cm rétegben csupán DÖ kezelés és LÖ kezelés között volt szignifikáns eltérés, a 22,5-30 cm rétegben az NÖ mindkét öntözési kezeléstől jelentősen eltért (*22. táblázat*).

22. táblázat: A 2017. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	4	1.0750		
lineár (LÖ)	4	1.2525	1.2525	
dobos (DÖ)	4		1.3275	
Sig.		0.061	0.524	
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	4	1.8725		
dobos (DÖ)	4		2.1350	
lineár (LÖ)	4			2.3900
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	4	2.3750		
dobos (DÖ)	4		2.6750	
lineár (LÖ)	4		2.7100	
Sig.		1.000	0.915	
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	4	2.6125		
lineár (LÖ)	4		2.9675	
dobos (DÖ)	4			3.3425
Sig.		1.000	1.000	1.000

Az utolsó mintavételi időpontban, 2018 nyári időszakban mért talajellenállás értékeket a *30. ábra* mutatja. A 2018 nyári időszakban minden mélységben a legmagasabb talajellenállás értékeket a NÖ-NM kezelésben mértem. Az adott időszakban nem volt kimutatható károsan tömörödött réteg, egyik mért érték sem haladta meg a 3 MPa értéket. Második legkedvezőtlenebb a dobbal öntözött, nem mulcsozott (DÖ-NM) talaj volt. A *Tests of Between-Subjects Effects* (vegyes elrendezésű kétutas faktoriális ANOVA) eredményeit az *M3.9. táblázatban* foglaltam össze. Az öntözési kezelésekre vonatkozó ANOVA eredményeket az *M3.15. táblázatban* összesítettem.



30. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2018 nyár.

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott; NT-nem taposott, n=4.

A nem mulcsozott (NM) kezelések eredményei mind a három öntözési időszakban LÖ – DÖ – NÖ sorrendben alakult. Külön kiemelem az LÖ-NM kezelés értékeit, mivel minden nyáron itt mértem a legkedvezőbb talajellenállás értékeket, ennek a kezelésnek az eredményei minden esetben felülmúlták a mulcsozott kezelések értékeit. Megállapítható, hogy a lineár berendezéssel a nem mulcsozott felszínen végzett szakszerű öntözés a talajellenállás szempontjából kíméletes vízkijuttatási módnak tekinthető. Továbbá a 2017 nyári NÖ-NM kezelés 30-37,5 cm rétegének kivételével nem fordult elő káros mértékű talajtömörödés egyetlen kezelésben sem az öntözési időszakokban.

Minden mélységben kimutatható volt szignifikáns különbség az öntözési és a takarási módok között, valamint ezek együttes hatásaiban is. Míg a felső két rétegben (0-7,5 cm, 7,5-15

cm) mindhárom öntözési (LÖ, DÖ, NÖ) kezelés értékekei szignifikáns mértékben (p<0,05) eltértek egymástól addig a mélyebb rétegben már csak az LÖ kezelés eredményei különböztek jelentős mértékben a másik két (DÖ, LÖ) kezeléstől *(23. táblázat)*.

23. táblázat: A 2018. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.4475		
dobos (DÖ)	4		0.6600	
öntözetlen (NÖ)	4			0.9400
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-15 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	4	0.6625		
dobos (DÖ)	4		0.925	
öntözetlen (NÖ)	4			1.3725
Sig.		1.000	1.000	1.000
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	0.7375		
dobos (DÖ)	4		1.4675	
öntözetlen (NÖ)	4		1.6200	
Sig.		1.000	0.241	
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	1.1100		
dobos (DÖ)	4		2.0125	
öntözetlen (NÖ)	4		2.1850	
Sig.		1.000	0.218	
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	4	1.5325		
dobos (DÖ)	4		2.4500	
öntözetlen (NÖ)	4		2.8900	
Sig.		1.000	0.052	

A mulcsozott kezelések között a két felső és az alsó rétegben nem volt jelentős különbség mérhető *(24. táblázat)*. Míg 15-22,5 cm rétegben a két öntözött kezelés eredményei jelentősen meghaladták DÖ kezelés eredményeit, addig a 22,5-30 cm közötti rétegben statisztikailag igazolható különbséget (p<0,05) csak a DÖ és NÖ kezelések között mutattam ki. A mulcsozott talajok eredményei a két megelőző évi hasonló kezelések során megfigyelhető

lefutást követték. LÖ-NM, NÖ-NM és DÖ-NM kezelések vonatkozásában csak kisebb különbségeket lehetett öntözési szezonban észlelni. Amíg 2016 évben egyetlen rétegben sem, a 2017 évben csupán egy rétegben, valamint a 2018 évben két rétegben volt jelentős mértékű eltérés kimutatható, vagyis szélsőséges talajellenállás értékek nem alakultak ki a mulcsborításnak köszönhetően.

24. táblázat: A 2018. nyári, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-22.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	0.8625	
dobos (DÖ)	4		1.1300
lineár (LÖ)	4		1.1650
Sig.		1.000	0.897
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	4	1.2850	
lineár (LÖ)	4	1.4625	1.4625
dobos (DÖ)	4		1.5225
Sig.		0.138	0.758

A mesterséges vízpótlási módszerekben mind a csévélődobbal, mind pedig a lineár berendezéssel végzett öntözővíz kijuttatás a felszíni esőszerű öntözési módok közé sorolható. A kétféle kijuttatási metódus azonban a talaj penetrációs ellenállásában eltérő változásokat okozott, amelyet a mulcsozás (M), valamint a mulcsozás elhagyása (NM) jelentősen módosított**.** A lineárral öntözött (LÖ) és dobbal öntözött (DÖ) kezelések összehasonlítása során meg kell említeni az öntözés hatékonyságában tapasztalható különbségeket, vagyis a tervezett és ténylegesen kijuttatott víz mennyiségének arányát, amelyet jelentősen befolyásol a nem azonos párolgási és elhordási veszteség; valamint az eltérő cseppméretből eredő más-más kinetikus energiával bíró cseppek talajszerkezetben okozott változásai.

Helyszíni megfigyeléseim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az öntöződob által egyetlen vízsugárból álló vízkijuttatás a talaj szerkezetében több kárt okozott, mint a lineár berendezés segítségével több szórófejre eloszlatott hasonló vízmennyiség. Amíg a lineárral öntözött (LÖ) talajban a kijuttatást követően szinte azonnal elszivárogott a víz, addig az öntözödobosban (DÖ) akár órákig, sőt másnap is megfigyelhető volt eliszapolódott tócsák formájában. Ezeken az iszapos helyeken a nyári hőségben a gyors kiszáradást követően gyakran a felszín cserepesedését figyeltem meg. Amikor a talaj szerkezeti állapota leromlik túlnyomóan

a talaj összporozitásának morzsák közti része változik előnytelenül (FEKETE 1958). Az LÖ parcellában egyáltalán nem tapasztaltam cserepesedést.

4.3.4. A gépi taposás hatása a talajellenállásra

A mintavételeket a korábbi mérésekkel megegyező módszerrel végeztem. Az időpontok azonosak voltak az öntözési kezelésben végzett mintavételek időpontjaival, összesen hat alkalommal (három őszi és három nyári időszakban). Minden egyes parcellában 4 mérési pontban végeztem méréseket a gép által taposott területen, továbbá 4 mérés a kezelések nem taposott részeiről származott. A mérési pontok elhelyezkedését GPS készülékkel rögzítettem. A mintavételek helyeket úgy választottam ki, hogy azok a lehetőleg a korábbi évek során is taposott sávjaiból, valamint a nem taposott helyekről származzanak. A GPS készülék segítségével ezek az állandó taposásnak kitett sávok jól beazonosíthatóak voltak.

Helyszíni észleléseim során szembeötlő különbséget tapasztaltam a taposott (T) és a nem taposott NT) sávok tömörségében. Az öntözött parcellákban főként az öntözőgépek kerekei tömörítették a nedves talajt haladásuk közben. Annak érdekében, hogy az öntözőberendezések által okozott extra tömörödés hatása a nem öntözött parcella adataival összehasonlításban ne befolyásolják az eredményeket, olyan sávokból vettem mintát az öntözött parcellákból, amelyeket a munkagépek tömörítettek meg. Az öntözőberendezések által kiváltott kedvezőtlen hatást tovább súlyosbította, hogy ezek a berendezések megközelítően minden évben ugyanazokat a sávokat taposták. Az adataimat CERDÁ et al. (2021) mérései is alátámasztották. Megállapították, hogy csepegtető öntözés mellet a talaj térfogattömege 1,05 g/cm^3-ről tizenhárom év alatt 1,33 g/cm^3-re nőtt, a sorközökben a gépek pedig 1,43 g/cm^3-re növelték a térfogattömeget.

A *25. táblázatban* megfigyelhető, hogy a három nyári mintavétel átlagában a lineárral öntözött (LÖ) kezelések talajellenállás értékei szignifikánsan ($p<0,05$) kedvezőbben alakultak a másik két öntözési (DÖ, NÖ) kezeléshez képest az összes mélységben a nem mulcsozott (NM) kezelésekben. Legalacsonyabb penetrációs ellenállást az összes nyári eredmény tekintetében az LÖ-M-NT kezelés legfelső 0–7,5 cm rétegében mutattam ki, míg a legmagasabb talajellenállás értéket az NÖ-NM-T kezelésben tapasztaltam 3,50 MPa értékkel. A szakirodalom szerint akkor tekinthető károsan tömörödöttnek a talaj, ha behatolási ellenállása nagyobb, mint 3 MPa, vagy térfogattömege meghaladja az 1,5 g/cm^3 értéket (SOANE és OUWERKERK 1995).

A DÖ kezelés nyári értékeit összehasonlítva a másik két öntözési kezelés eredményeivel (LÖ, NÖ) ismételten szignifikáns ($p<0,05$) eltérés tapasztalható minden mélységben, mindkét másik kezeléshez képest a nem mulcsozott (NM) kezelésekben. A DÖ kezelések közül a

legkedvezőbb talajellenállás értéket a 0,41 MPa értékkel a mulcsozott, nem taposott parcellából mutattam ki (DÖ-M-NT), a legkedvezőtlenebb kezelésnek nyári időszakban a DÖ kezelések közül a nem mulcsozott, taposott (DÖ-NM-T) talaj bizonyult 2,83 MPa értékkel.

25. táblázat: Talajpenetrációs értékek taposási kezelések és évszakok szerint

NEM TAPOSOTT (NT) NYÁR						
	NÖ-NM-NT	LÖ-NM-NT	DÖ-NM-NT	NÖ-M-NT	LÖ-M-NT	DÖ-M-NT
-7,5 cm	1,03^{c}	0,43^{a}	0,63^{b}	0,53^{B}	0,40^{A}	0,41^{A}
-15 cm	1,43^{c}	0,64^{a}	0,89^{b}	0,83^{A}	0,81^{A}	0,80^{A}
-22,5 cm	1,68^{c}	0,70^{a}	1,46^{b}	0,98^{A}	1,12^{A}	1,09^{A}
-30 cm	2,16^{c}	0,99^{a}	1,91^{b}	1,37^{A}	1,46^{A}	1,43^{A}
-37,5 cm	2,95^{c}	1,50^{a}	2,44^{b}	1,75^{A}	1,77^{A}	1,78^{A}
TAPOSOTT (T) NYÁR						
	NÖ-NM-T	LÖ-NM-T	DÖ-NM-T	NÖ-M-T	LÖ-M-T	DÖ-M-T
-7,5 cm	1,97^{c}	0,85^{a}	1,33^{b}	1,26^{B}	0,80^{A}	0,80^{A}
-15 cm	2,08^{c}	1,00^{a}	1,68^{b}	1,67^{B}	1,18^{A}	1,29^{A}
-22,5 cm	2,31^{c}	1,10^{a}	2,03^{b}	1,80^{B}	1,56^{A}	1,59^{A}
-30 cm	3,12^{c}	1,35^{a}	2,40^{b}	1,90^{B}	1,76^{A}	1,97^{B}
-37,5 cm	3,50^{c}	2,00^{a}	2,83^{b}	2,11^{B}	1,92^{A}	2,28^{C}
NEM TAPOSOTT (NT) ŐSZ						
	NÖ-NM-NT	LÖ-NM-NT	DÖ-NM-NT	NÖ-M-NT	LÖ-M-NT	DÖ-M-NT
-7,5 cm	1,58^{b}	1,38^{a}	1,66^{b}	0,98^{A}	1,21^{B}	1,33^{C}
-15 cm	2,04^{b}	1,81^{a}	1,75^{a}	1,55^{A}	1,62^{A}	1,58^{A}
-22,5 cm	2,04^{a}	2,64^{b}	2,55^{b}	1,84^{A}	2,18^{B}	2,00^{B}
-30 cm	2,76^{a}	2,99^{b}	2,88^{ab}	2,28^{A}	2,63^{B}	2,54^{B}
-37,5 cm	3,16^{a}	3,42^{b}	3,37^{b}	2,59^{A}	2,94^{B}	3,09^{B}
TAPOSOTT (T) ŐSZ						
	NÖ-NM-T	LÖ-NM-T	DÖ-NM-T	NÖ-M-T	LÖ-M-T	DÖ-M-T
-7,5 cm	2,04^{a}	2,40^{b}	2,38^{b}	1,56^{A}	1,69^{B}	1,78^{B}
-15 cm	2,46^{a}	2,81^{b}	2,40^{a}	2,13^{B}	1,98^{A}	2,05^{AB}
-22,5 cm	2,85^{a}	3,40^{b}	3,40^{b}	2,41^{A}	2,66^{B}	2,74^{B}
-30 cm	3,27^{a}	3,71^{b}	3,79^{b}	2,79^{A}	2,95^{B}	3,18^{C}
-37,5 cm	3,48^{a}	3,94^{b}	4,09^{c}	2,96^{A}	3,28^{B}	3,68^{C}

Megjegyzés: a legalább egy azonos betűvel rendelkező jelölések a jelentős eltérések hiányára, az azonos betűt nem tartalmazó jelölések pedig a jelentős eltérésekre utalnak (p<0,01). Az 'a' és 'A' jelölések a legalacsonyabb csoportátlaghoz tartoznak.

A nyári nem mulcsozott (NM) kezelések ANOVA eredményeit az *M3.16. táblázat*, valamint a nem taposott (NM-NT) kezelésekre vonatkozó post hoc próbák eredményeit az *M3.16.1. táblázat* tartalmazza. A nyári taposott (NM-T) kezelések post hoc próbáit az *M3.16.2.*

táblázat mutatja. A nyári mulcsozott (M) kezelések ANOVA eredményeit az *M3.17. táblázat*, valamint a nem taposott (M-NT) kezelésekre vonatkozó post hoc próbák eredményeit az *M3.17.1. táblázat* tartalmazza. A nyári taposott (M-T) kezelések post hoc próbáit az *M3.17.2. táblázat* mutatja.

Az összes kezelés közül nyáron a legkedvezőtlenebb eredmények a nem öntözött talajból származnak. Az öntözetlen (NM) parcellák kedvezőtlen értékeire a mulcsozás kedvezően hatott mind a taposott, mind a nem taposott kezelésekben. Amíg NÖ-NM-NT értéke a legfelső rétegben 1,03 MPa volt, addig ugyanebben a rétegben az NÖ-M-NT kezelésben a talajellenállás értékek nyári átlaga 0,53 MPa volt. A mulcsozás hatása mélyebb rétegekben is kimutatható volt. Amíg az NÖ-NM-T kezelés a 30-37,5 cm rétegben elérte a károsan tömörödöttnek tekinthető 3,50 MPa értéket, addig az NÖ-M-T kezelésbe ugyanennek a rétegnek az értéke 2,11 MPa volt.

Az őszi nem mulcsozott (NM) kezelések ANOVA eredményeit az *M3.18. táblázat,* valamint a nem taposott (NM-NT) kezelésekre vonatkozó post hoc próbák eredményeit az *M3.18.1. táblázat* tartalmazza. Az őszi taposott (NM - T) kezelések post hoc próbáit az *M3.18.2. táblázat* mutatja. A nyári mulcsozott (M) kezelések ANOVA eredményeit az *M3.19. táblázat*, valamint a nem taposott (M-NT) kezelésekre vonatkozó post hoc próbák eredményeit az *M3.19.1. táblázat* tartalmazza. Az őszi taposott (M-T) kezelések post hoc próbáit *M3.19.2. táblázat* mutatja.

A nyári és az őszi mintavételi időszakok eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az összes kezelésben ugyan eltérő mértékben, de egyértelmű talajtömörödés volt kimutatható. Amíg öntözési időszakban a legkedvezőbb talajellenállás értékekkel a legtöbb mélységben egyértelműen a lineárral öntözött (LÖ) talaj rendelkezett, addig őszre ez az előny megszűnt és a legtöbb mélységben a dobos öntözés értékeihez vált hasonlóvá, néhol azt meghaladva. Ősszel a legkedvezőbb értéket az NÖ-M-NT kezelés legfelső (0-7,5 cm) rétegében mértem 0,98 MPa értékkel, amely szignifikánsan ($p<0,05$) különbözött mindkét másik kezelés ebben a rétegben kapott eredményeitől. Az LÖ-M-NT kezelés 1,21 MPa értékét szignifikánsan ($p<0,05$) meghaladta a DÖ-M-NT kezelés eredménye 1,33 MPa értékkel. BIRKÁS (1996) az öntözést a talaj tömörödése szempontjából a kedvezőtlen tényezők között azonosította, mivel a talaj megnövekedett nedvességtartalma fokozza a tömörödési hajlamot. Külön kiemelte a művelés miatt nedves talajon járást fokozottan káros hatását.

Az öntözés talajtömörítő hatása főként az LÖ-NM-T és DÖ-NM-T kezelésekben mutatkozott meg az őszi időszakban. Ezekben a nem mulcsozott, taposott kezelésekben már a 15-22,5 cm rétegben tapasztalható volt a káros talajtömörödés mértéke, mindkét kezelésben

3,40 MPa értékkel, szignifikánsan ($p<0,05$) meghaladva az NÖ-NM-T ugyanebben a rétegben mért 2,85 MPa eredményét. A teljes vizsgálati időszakra vonatkozó legkedvezőtlenebb átlagos talajellenállás érte a DÖ-NM-T kezelés 30-37,5 cm rétegében alakult 4,09 MPa értékkel. A talaj nedvességtartalma és a talajtömörödés összefüggéseire SOANE és VAN OUWERKERK (1994) mutatott rá, véleményük szerint leginkább a talaj nedvességtartalma befolyásolja a talajtömörödés mértékét. A megfigyeléseiket mérési eredményeim is igazolták, azzal a kiegészítéssel, hogy nyári időszakban jelentős különbség alakult a nem taposott (NT) és taposott (T) talajok felső rétegének nedvesség értékeiben.

Ugyanakkor a szerves talajtakarás minden kezelésben bizonyos mértékig ellensúlyozta a talajt ért káros hatásokat a tenyészidőszak során, évszaktól függetlenül. A mulcsozott (M) talajokban mért legtömörebb érték nem érte el a nem mulcsozott (NM) talaj legkisebb tömörödés értékét egyetlen réteg kivételével. A DÖ-M-T kezelés 30-37,5 cm rétegében ősszel mért átlagos 3,68 MPa eredménye 0,2 MPa értékkel meghaladta a NÖ-NM-T kezelés eredményét. BUESA et al. (2021) megállapították, hogy a mulcsozás az öntözési rendszertől függetlenül javította a talaj vízgazdálkodását, továbbá csökkentette a talaj térfogattömegét. LIAO et al. (2021) szerint a szerves takarás hatékonyan csökkentette a párologtatást, ezáltal jelentősen növelte az öntözővíz-felhasználás hatékonyságát. Ugyanakkor megjegyezték, hogy a mulcsozás heves esőzéseket követően növelte a beszivárgást, ellenben enyhe esőzések után a szalmatakaró csökkentette a beszivárgó víz mennyiségét.

4.4. A földigiliszta egyedszám és biomassza vizsgálatok eredményei

4.4.1. A földigiliszta közösség faj- és korösszetétele

A vizsgálataim során a földigiliszta fajok közül öt került beazonosításra. Ezek a következők voltak csökkenő sorrendben: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826), *Aporrectodea georgii* (Michaelsen,1890), *Proctodrilus opisthoductus* (Zicsi,1985), *Octolasion lacteum* (Örley,1881), amelyek egymáshoz viszonyított előfordulási arányát a mulcsozott (M) és a nem mulcsozott (NM) kezelésenként a *26. táblázatban* foglaltam össze. A két legdominánsabb faj az *Aporrectodea caliginosa* és a *Aporrectodea rosea* volt, ez a két faj minden mintában jelen volt, kivételt a 2017 nyara jelentett a mulcsozatlan (NM) kezelésekben. A mintavételezés során beazonosított fajok mind endogén földigiliszta fajok, amelyek jól alkalmazkodtak a mezőgazdasági területekhez és a talajműveléshez (CSUZDI és ZICSI 2003). A teljes vizsgálati időszak összesített adataiban a mulcsozott (M) kezelések esetében a *Aporrectodea caliginosa* volt a dominás faj minden évben, kivéve a 2016 ősszel,

amikor a *Aporrectodea rosea* (70%) dominásabb volt. A nem mulcsozott (NM) parcellákon is hasonlóan alakult a földigiliszta fajok előfordulási aránya, leggyakoribb faj ismételten az *Aporrectodea caliginosa* volt, amelyet *Aporrectodea rosea* és a *Aporrectodea georgi* követett.

26. táblázat: A földigiliszta fajok aránya (%) mulcsozott, nem mulcsozott bontásban (2015-2018)

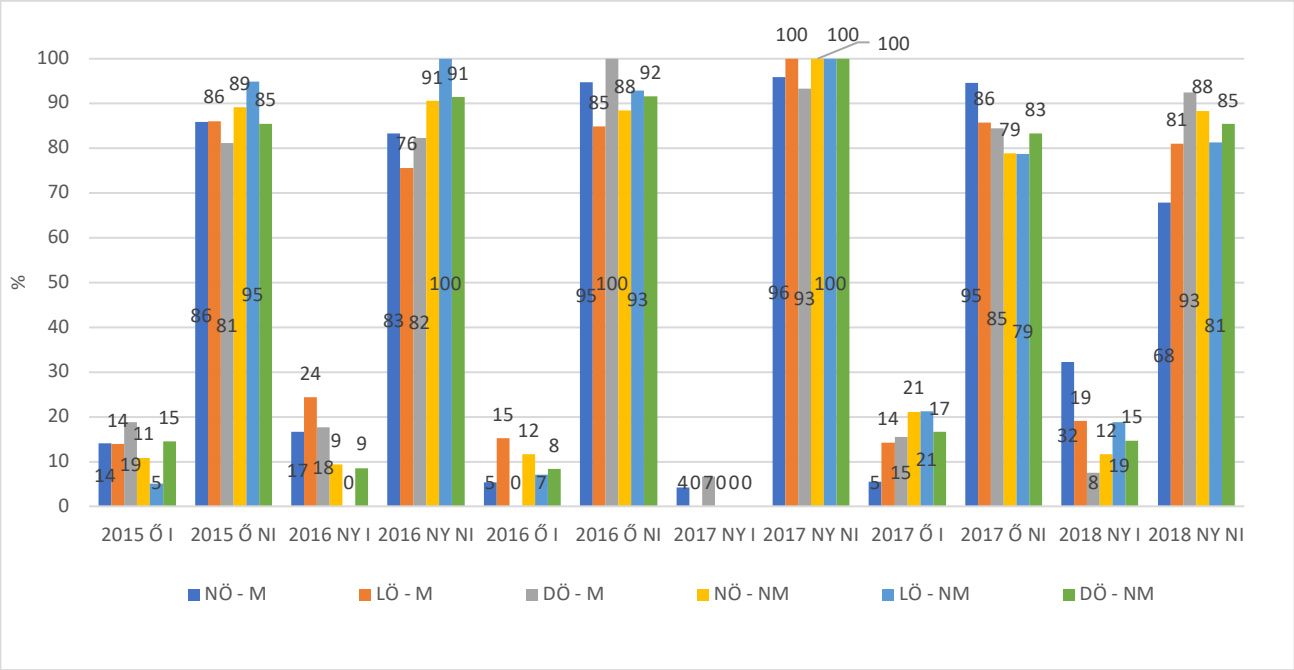
Kezelések	Mintavételi idő	*Aporrectodea caliginosa*	*Aporrectodea rosea*	*Aporrectodea georgii*	*Proctodrilus opisthoductus*	*Oktolasion-lakteum*
M	2015 ősz	92,3	5,7	0	1,9	0
	2016 nyár	68,75	31,25	0	0	0
	2016 ősz	30	70	0	0	0
	2017 nyár	50	50	0	0	0
	2017 ősz	46,67	26,67	26,67	0	0
	2018 nyár	60	24	8	8	0
NM	2015 ősz	64	28	8	0	0
	2016 nyár	33,33	16,67	50	0	0
	2016 ősz	36,36	54,55	9,09	0	0
	2017 nyár	0	0	0	0	0
	2017 ősz	53,33	23,33	20	3,33	0
	2018 nyár	66,67	22,22	0	0	11,11

Megjegyzés: M – mulcsozott, NM – nem mulcsozott.

Az *Aporrectodea caliginosa* az agroökoszisztémák egyik jellegzetes faja. A kifejlett egyedek összes energiájukat a gubótermelésre fordítják, amelynek mértékét csak a rendelkezésre álló élelmiszermennyiség befolyásolja, de a gilisztasűrűség nem (BART at al. 2019). SHEKHOVTSOV et al. (2020) szerint a *Aporrectodea rosea* ugyancsak kozmopolita faj. A *Proctodrilus opisthoductus* fajt összesen három mintából sikerült kimutatni 2015 ősszel és 2018 nyarán a mulcsozott (M), valamint 2017 őszén a nem mulcsozott (NM) talajokból. Az *Octolasion lacteum* egyetlen mintában, 2018 nyarán a nem mulcsozott (NM) kezelésben fordult elő. Míg a mélyben ásó (anexikus) fajok bősége a túlzott talajművelés következtében lecsökken, addig az endogeikus földigiliszta fajok egyedszáma akár növekedhet is az megnövekedett élelemellátásnak köszönhetően. A fenntartható talajművelésre történő áttérés nem növeli automatikusan a földigiliszták számát (CHAN 2001).

A kifejlett és fiatal földigiliszták arányát a *31. ábra* mutatja. Az összes vizsgált évben a nem ivarérett egyedek aránya többszörösen meghaladta az ivarérett egyedek arányát évszaktól függetlenül. A 2017. nyári időszakban a három öntözési és két felszítakarási kezelés kombinációi közül két kezelésben lehetett elenyésző mértékben kifejlett egyedeket találni. A kifejlett földigiliszták aránya csupán egy évben haladta meg a 30%-ot, mégpedig a lineárral öntözött és nem mulcsozott (LÖ-NM) kezelésben 2018 nyarán. Az állomány regenerációjához elengedhetetlen lenne a kifejlett egyedek minél nagyobb aránya. A földigilisztáknak el kell érniük egy bizonyos tömeget annak érdekében, hogy ivaréretté váljanak és képesek legyenek a

szaporodásra (LOFS-HOLMIN 1983). A különböző földigilisztafajok eltérően reagálnak a talajművelés hatásaira.



31. ábra: A kifejlett és fiatal földigiliszták aránya (2015 - 2018)

Megjegyzés: NÖ-nem öntözött; LÖ-lineárral öntözött; DÖ-dobbal öntözött; NM-nem mulcsozott; M-mulcsozott; NY – nyári minta; Ő – őszi minta; I – ivarérett (kifejlett) egyedek, NI – nem ivarérett egyedek

A földigiliszták korösszetétele a különböző kezelések mellett változatosan alakult, egyik kezelés előnye sem állapítható meg a többihez viszonyítva. Megfigyeléseim szerint a kifejlett egyedek aránya és az utolsó bolygatás között eltelt idő pozitívan korrelált egymással.

4.4.2. A öntözés hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára

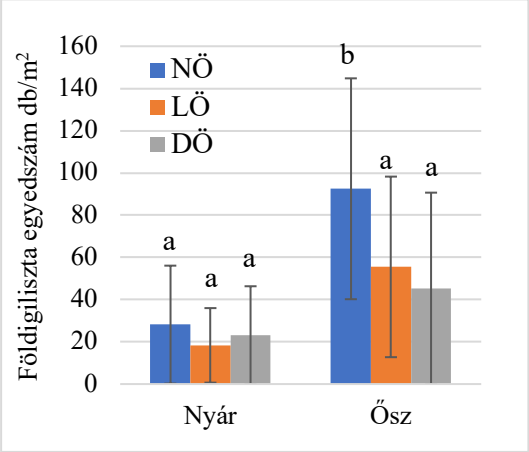
Az egyes öntözési kezelésekhez tartozó földigiliszta egyedszám, biomassza és szórási értékeket a *27. táblázat* mutatja.

27. táblázat: Öntözési kezelések földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei

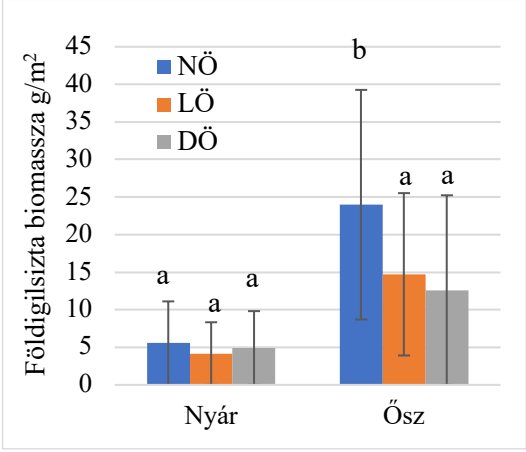
Tényezők	NÖ	LÖ	DÖ	NÖ (SD)	LÖ(SD)	DÖ(SD)
Nyár	28,17	18,33	23,17	27,92	17,65	23,17
Ősz	92,50	55,50	45,33	52,30	42,76	45,33
Nyár*	5,56*	4,17*	4,91*	5,56*	4,17*	4,91*
Ősz*	23,98*	14,72*	12,62*	15,28*	10,80*	12,62*

A hat mérési időszak átlagában legnagyobb földigiliszta számot (92,5 db/m^2; 23,98 g/m^2) a nem öntözött (NÖ) kezelésben ősszel mutattam ki. Sorrendben ezt követte a lineár öntözés (55,5 db/m^2; 14,71 g/m^2), majd a dobos öntözés (45,33 db/m^2; 12,61 g/m^2), mindkettő

szintén őszi adatokkal. A nyári öntözési idényben ugyancsak a kontroll (NÖ) adatok alakultak a legkedvezőbben (28,16 db/m^2; 5,55 g/m^2), ezt követte a DÖ (23,16 db/m^2, 4,9 g/m^2), legvégül az LÖ kezelés (18,33 db/m^2; 4,16 db/m^2). A 2015–2018 időszak öntözési kezeléseiből származó minták átlagos földigiliszta egyedszámát a *32. ábra*, a biomassza adatait a *33. ábra* szemlélteti.



32. ábra: Földigiliszta egyedszám öntözési kezelésenként



33. ábra: Földigiliszta biomassza öntözési kezelésenként

Megjegyzés: a legalább egy azonos betűvel rendelkező jelölések között nincs jelentős eltérés; az azonos betűt nem tartalmazó jelölések jelentős eltérésekre utalnak az átlagok között 5%-os szignifikancia szinten.

Az ANOVA eredménye alapján szignifikáns eltérést ($p<0,05$) a nem öntözött (NÖ) kezelés földigiliszta egyedszám és biomassza értékei mutattak a másik két öntözési kezeléshez (LÖ; DÖ) képest, s kizárólag az őszi időszakban.

A földigiliszták életciklusához hozzátartozik a téli és a nyári nyugalmi állapot. Ezek a nyugalmi szakaszok a hőmérséklettel és a talajok nedvességtartalmával állnak összefüggésben. A felszínre hordott talaj mennyiségéből arra lehet következtetni, hogy az őszi hónapokban a legaktívabb a tevékenységük. Ez a téli nyugalmi időszakra történő felkészüléssel magyarázható (FEHÉR et al. 1954; SMEATON et al. 2003).

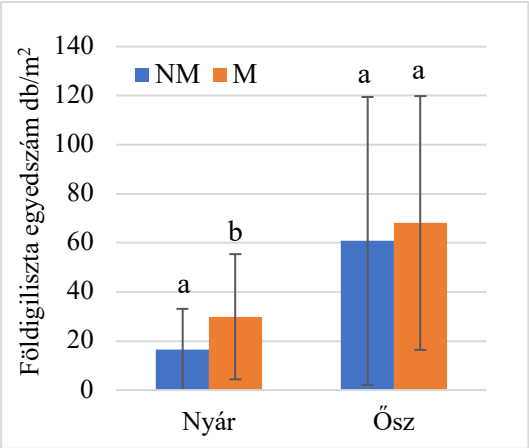
4.4.3. A mulcsozás hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára

Az egyes mulcsozási kezelésekhez tartozó földigiliszta egyedszám, biomassza és a szórási értékeket a *28. táblázat* tartalmazza.

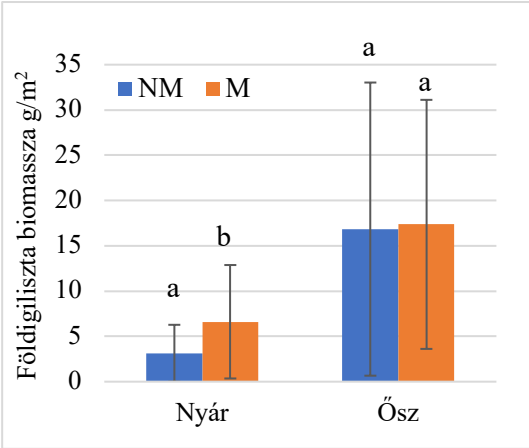
28. táblázat: Mulcsozási kezelések földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei

Tényezők	NM	M	NM(SD)	M(SD)
Nyár	16,56	29,89	16,56	25,52
Ősz	60,78	68,11	58,68	51,73
Nyár*	3,14*	6,62*	3,14*	6,26*
Ősz*	16,84*	17,37*	16,18*	13,75*

A mulcsozási kezelésekben a teljes kutatási időszakra vonatkozó földigiliszta átlagos egyedszámokat a *34. ábra*, a biomassza értékeket a *35. ábra* mutatja. Legmagasabb egyedszámokat az öntözési időszakot követően vett mintákból mutattam ki. Az őszi mulcsozott (M) talajban az egyedszám és a biomassza (68,11 db/m^2; 17,37 g/m^2) nem szignifikáns mértékben, de némileg meghaladta az őszi nem mulcsozott (NM) talajban mért értékeket (60,77 db/m^2; 16,84 g/m^2). A mulcsozott talaj (M) adatai (29,88 db/m^2; 6,61 g/m^2) meghaladták a nem mulcsozott (NM) kezelések értékeit (16,55 db/m^2; 3,13 g/m^2).



34. ábra: Földigiliszta egyedszám mulcsozási kezelésenként



35. ábra: Földigiliszta biomassza mulcsozási kezelésenként

Megjegyzés: a legalább egy azonos betűvel rendelkező jelölések között nincs jelentős eltérés; az azonos betűt nem tartalmazó jelölések jelentős eltérésekre utalnak az átlagok között 5%-os szignifikanciaszinten.

A talajtakarás hatásának vizsgálata előtt az adatsort egymintás Kolmogorov-Smirnov teszttel ellenőriztem a normál eloszlás szempontjából. Mivel az adatállomány nem mutatott normál eloszlást, ezért az adatok elemzéséhez egyutas ANOVA-t használtam. A mulcsozott (M) és nem mulcsozott (NM) kezelésekben a földigiliszta egyedszám és biomassza értékek csak a nyári mintákban különböztek egymástól szignifikáns mértékben ($p<0,05$). Az ősszel is magasabb volt a földigiliszták előfordulása a mulcsozott parcellában, de ebben az időszakban a két kezelés közti különbség nem volt jelentős.

A földigiliszták tömege és ásási tevékenysége összefüggésben áll a hőmérséklet és a nedvességtartalom, valamint ennek a két tényezőnek az együttes hatásával. A maximális üregmélység és az üregek száma a szárazodással együtt növekedett. A talajnedvesség növekedésével arányosan lecsökkent a járatok száma, ellenben növekedett a földigiliszták biomasszája. Nedvesebb talajban vélhetően intenzívebben táplálkoztak a földigiliszták és kevesebbet ástak. A szárazabb körülmények között élő földigiliszták a rendelkezésre álló

táplálékból kevesebbet fogyasztottak el, egyúttal több és mélyebb járatokat hoztak létre. (PERREAULT és WHALEN 2006).

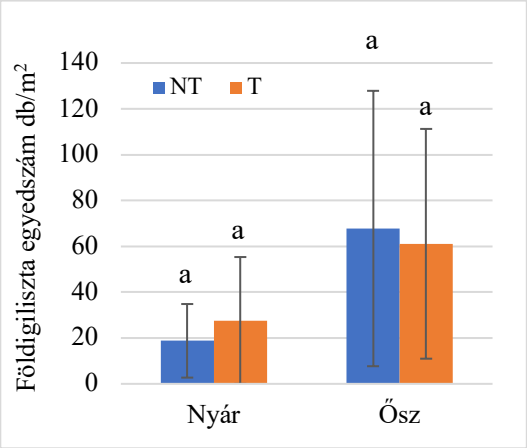
4.4.4. A talajtömörödés hatása a földigiliszták egyedszámára és biomasszájára

Az egyes talajtaposási tényezőkhöz tartozó földigiliszta egyedszám, biomassza és szórási értékeket a *29. táblázat* mutatja.

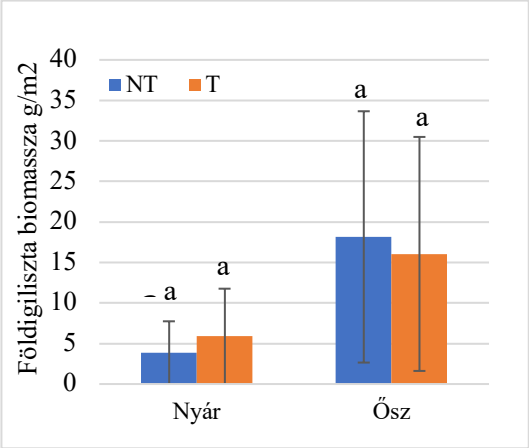
29. táblázat: A talajtaposási hatás földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei

Tényezők	NT	T	NT(SD)	T(SD)
Nyár	18,78	27,67	16,05	27,67
Ősz	67,78	61,11	60,09	50,13
Nyár*	3,87*	5,88*	3,87*	5,88*
Ősz*	18,16*	16,06*	15,51*	14,44*

A legmagasabb előfordulást a nem tömör (NT) őszi mintából sikerült kimutatnom (67,77 db/m^2; 18,15 g/m^2), ezt követte az őszi tömör (T) minta (61,11 db/m^2; 16,05 g/m^2). Az öntözési idényben a tömör (T) minták (27,66 db/m^2; 5,88 g/m^2) értékei, bár nem jelentős mértékben meghaladták a nem tömör (NT) minták értékeit (18,77 db/m^2; 3,87 g/m^2). A teljes vizsgálati időszakban gyűjtött minták átlagos egyedszám értékei a taposási tényezőre vonatkozóan a *36. ábrán*, átlagos biomassza adatai a *37. ábrán* láthatók.



36. ábra: Földigiliszta egyedszám talajtaposási kezelésenként



37. ábra: Földigiliszta biomassza talajtaposási kezelésenként

Megjegyzés: a legalább egy azonos betűvel rendelkező jelölések között nincs jelentős eltérés; az azonos betűt nem tartalmazó jelölések jelentős eltérésekre utalnak az átlagok között 5%-os szignifikanciaszinten.

Az adatok elemzéséhez egyutas ANOVA-t használtam. A talajművelő eszközök és az öntöző rendszerek által tömörített (T) sávokból származó adatok nem tértek el szignifikáns mértékben a nem taposott (NT) területekről származó értékektől egyik évszakban sem. Azonban a nyári időszakban a *23. ábra* szerint a tömör (T) kezelések nedvességtartalma jelentős

mértékben ($p<0,05$) meghaladta a nem tömör kezelések nedvességtartalmát. Ezzel összefüggésben azt tapasztaltam, hogy a nyári földigiliszta előfordulás magasabb volt a tömörödött mintákban.

Az évszakok adatait egymással összehasonlítva megállapítható, hogy közöttük számottevő különbség alakult ki. Ősszel több, mint kétszeres volt a földigiliszta egyedszám és biomassza tömeg, mint a nyári időszakban. A forgatás nélküli sekélyművelés többnyire jó takarást nyújt, amely előnyös a földigiliszták előfordulására, összefüggésben talajellenállás, talajnedvességi mutatókkal (DEKEMATI et al. 2021). GIANNITSOPOULOS et al. (2019) érdemi összefüggést mutattak ki a mind a talaj szerves széntartalma, felszíni szervesanyag-, vízstabil aggregátumok mennyisége és földigiliszták sűrűsége között. VRSIC et al. (2021) szerint a legnagyobb földigilisztabőség a szalma talajtakarás alatt mutatható ki. Arra a következtetésre jutottak, hogy a különböző talajgazdálkodási gyakorlatok nagymértékben befolyásolják a talaj környezeti feltételeit (hőmérséklet, páratartalom), különösen a talaj felső 15 cm-es rétegében és éppen ez az a réteg, amely jellemzői leginkább befolyásolják a földigiliszták bőségét.

4.5. Új tudományos eredmények

Vizsgálataim alapján az alábbi új tudományos eredményeket állapítottam meg:

1. A mélyben sós szolonyeces talaj a kémiai jellemzőinek csekély változásait mutattam ki három év után, két eltérő esőztető öntözési módnál, a termőhelyhez és az időjárási körülményekhez szabott vízadagok alkalmazása esetén. Az öntözött parcellák művelt rétegében kisebb vízoldható sótartalom arányt mértem az öntözés hatásaként (átlag 0,055% vízoldható só), mint az alapozó vizsgálat évében (átlag 0,16% vízoldható só).
2. Kimutattam, hogy öntözési idényben mindkét esőztető öntözési mód (LÖ-NM és DÖ-NM) kedvezőbb talajpenetrációs értékeket eredményezett a nem öntözött és nem mulcsozott (NÖ-NM 15 – 22,5 cm, átlagosan: 1,70 MPa) kezeléshez képest. Mulcsozás hiányában a lineár öntözés átlagosan 52%-kal mérsékeltebb talajtömörödéssel járt a csévélődobos öntözéshez képest ebben a rétegben.
3. Igazoltam a két eltérő esőztető öntözőberendezésre jellemző lassúbb beszivárgás késleltetett, őszre elhúzódó ülepítő hatását, ami a lineár öntözés esetében 13,8%-kal, csévélődobos öntözés esetében 12,5% magasabb penetrációs értékeket eredményezett a talaj 30-37,5 cm-es rétegében a nem öntözött kezeléshez képest. Őszre a lineár öntözés kedvező hatása megszűnt és a mélyebb rétegekben a legnagyobb mértékű tömörödést váltotta ki a többi kezeléshez képest.
4. Bizonyítottam a szerves talajtakarás előnyös hatását az öntözővíz talajba szivárgására, amelynek révén a talaj ülepedése és a művelési eredetű tömörödés a kritikus ellenállás érték (≤3MPa) alatt maradt az összes vizsgált rétegben az öntözési szezonban. A mulcsozott kezelések közül az öntözési szezont követően csak az öntöződobos kezelés talajának 30-37,5 cm-es rétegében volt kimutatható káros mértékű talajtömörödés.
5. Mérésekkel alátámasztottam az öntözéssel összefüggő tömörebb talaj földigiliszta egyedszámra gyakorolt kedvezőtlenebb hatását. Az összes minta átlagában a legnagyobb földigiliszta számot és tömeget (92,5 db/m^2; 23,98 g/m^2) ősszel, a nem öntözött kezelésben mutattam ki. Sorrendben ezt követte a lineár öntözés őszi (55,5 db/m^2; 14,71 g/m^2), majd a dobos öntözés szintén őszi (45,33 db/m^2; 12,61 g/m^2) adatai. A talajtömörödés kedvezőtlen hatása a földigilisztáknak élelmet és védelmet adó állandó felszíntakarással volt enyhíthető. A mulcsozott talaj adatainak a teljes kutatási időszakra vetített átlagai (29,88 db/m^2; 6,61 g/m^2) szignifikánsan meghaladták a nem mulcsozott (NM) kezelések értékeit (16,55 db/m^2; 3,13 g/m^2).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az öntözési beruházások létrehozása előtt eltérő talajfoltonként, de legalább 10 hektáronként talajszelvény-feltárással talajvédelmi terv készítése szükséges, amelyet öt évente felül kell vizsgálni. A szikesedésre hajlamos területeken a sóprofilban bekövetkezett változást kell elsősorban figyelemmel kísérni és szükség szerint az öntözés gyakorlatán változtatni. A rendszeres felülvizsgálatok, mint ahogyan az alapvizsgálat sem, nem foglalkoznak a talajéletben bekövetkezett változásokkal. Ezért nincs arról adatunk akár rövid, akár hosszú távon, hogy az intenzív öntözési gyakorlat milyen változásokat okoz a talaj élő rendszerében. Dolgozatomban rávilágítottam arra, hogy a talajban és az öntözővíz tulajdonságokban bekövetkező változások mellett az élő rendszerek változását is figyelemmel kell kísérni.

A talaj elő és élettelen komplex rendszerében minden mesterséges beavatkozás változásokat okoz. Ezek a változások nem feltétlenül károsak. A pontos mérték megállapításához kvantitatív mérésekre volt szükség. A döntéselőkészítést 2016-ban távérzékelő berendezés segítette. A kutatási időszakot egy-egy száraz és nedves, valamint két átlagos év jellemezte. A szükséges vízpótlás mértékét a talaj nedvességállapotához és a termesztett növény vízigényéhez állapítottam meg. A termésbiztonság megtartása érdekében az adott időszakra jellemző csapadék mellett a növény zavartalan fejlődéséhez szükséges vízpótlást alkalmaztam. A termőhelyhez és az időjárási körülményekhez igazított öntözéssel elkerülhető volt a talajt károsító túlöntözés, ezáltal nem fokozódott a szikesedés veszélye és a tápanyagok nem mosódtak mélyebb rétegekbe. A vizsgálati időszakban végzett talajvizsgálati értékek nem tértek el lényegesen az öntözési beruházást megelőző talajvizsgálatok eredményeitől. A talajkémiai eredményeket a szerves felszíntakarás rövid távon nem befolyásolta. Rendszeres öntözés esetén a kémiai vizsgálatok talaj féleségtől függetlenül javasolhatók.

A talaj fizikai jellemzői közül kiemelten a nedvességtartalmat és a talaj ellenállását vizsgáltam. A talajnedvesség nyomon követése azt igazolta, hogy a tenyészidőszakot megelőzően hullott csapadék mélyebb rétegekben jelen van, amely bizonyos mértékig vízpótlást jelent a növények számára. A mélyebb rétegekben bekövetkező vízhiányt el kell kerülni, mert annak utólagos feltöltése már legtöbbször meghaladja az öntözőtelep kapacitását. Az értékelés nyomán egyrészt az öntözési idényben folyamatos nedvesség vizsgálat javasolható. Javasolható továbbá az öntözővíz talajba szivárgása révén előálló talajállapot változások nyomon követése a következő idény előtti művelés megtervezését segítendő.

A fizikai talajtulajdonságok közül éven belül a legnagyobb változás a talaj penetrációs értékeiben tapasztaltam, főleg a takaratlan kezelések esetében. A nyári kedvező talajellenállás értékek az öntözött talajok lassú ülepedése miatt őszre kedvezőtlenné váltak. A talaj penetrációs ellenállása szempontjából nem állapítható meg egyértelműen a lineár öntözés előnye, mivel a víz a lassú beszivárgása a mélyebb rétegek jelentősebb ülepedését okozta. A mulcshagyás mindhárom kezelés értékeit kedvezően befolyásolta, azok penetrációs értékei nem tértek el olyan mértékben egymástól, mint a nem takart kezelések esetében. Méréseim igazolták, hogy a takart talajok talajellenállás értékei a gépi taposás ellenére is kedvezőbben alakultak a nem mulcsozott kezelések értékeinél, mindhárom öntözési kezelésben. Mivel az öntözés hatására a talaj ülepedése gyakran bekövetkezik, a nyomon követés feladata a talaj félesége által befolyásolt jelenség lassítása, továbbá az idény végén a kárenyhítés elvégzése.

Kiemelt figyelmet fordítottam a két esőztető öntözőberendezés (csévélődobos, lineár) talaj szerkezetére gyakorolt hatásának vizsgálatára. A kéregképződés a csévélődobos öntözés mellett a nagyobb cseppenergia miatt bekövetkezett felszíni szerkezetromlásra utal. A jelenség a mélyebb rétegek mellett a talaj felszínén bekövetkező kedvezőtlen változások felismerését teszi szükségessé. A felszíntakarás, kedvező arány (legalább 30%) esetén az eliszapolódás és a kéregképződés megelőzéséhez járulhat hozzá.

A talajminőség indikátorainak tekintett földigilisztákat választottam a talaj élő rendszerének vizsgálatához. Három nyári és három őszi időpontban mértem a földigiliszták egyedszámát és biomasszáját. A kifejlett, szaporodásra képes földigiliszták aránya egy eset kivételével 30% alatt maradt, a fajösszetétel pedig mindössze öt fajra korlátozódott. Ezek a következők voltak csökkenő előfordulási sorrendben: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826), *Aporrectodea georgii* (Michaelsen,1890), *Proctodrilus opisthoductus* (Zicsi,1985), *Octolasion lacteum* (Örley,1881). Az állomány regenerációját a kifejlett egyedek képesek biztosítani, ezért számukra fizikai védelmet mulcshagyással lehet biztosítani.

Nyáron az ülepedett nedvesebb talajokban, míg ősszel a lazább talajokban volt nagyobb a földigiliszták egyedszáma. A két esőztető öntözőberendezés adatait összehasonlítva nem találunk számottevő különbséget a földigiliszták előfordulásában egyik évszakban sem. Az öntözött és nem öntözött kezelések őszi adatait tekintve azonban a nem öntözött területek földigiliszta bősége jelentősen meghaladta az öntözött területekét. Ez a jelenség ugyancsak az élőhely védelmére irányítja a figyelmet.

Mivel a földigiliszták nyáron a hőség és szárazság miatt nyugalmi állapotba kerülnek, észszerűnek látszik az élőhelynek alkalmas talajállapot idejének meghosszabbítása. Öntözési

idényben a mulcsozás javította a földigiliszták élőhelyét, amely kedvezően befolyásolta az egyedszámukat is. A kutatási eredmények alapján az éghajlati szélsőségektől védelmet jelentő mulcsozás egész évi folyamatossága a földigiliszták élőhelyének kedvező szinten tartásához járul hozzá mind öntözött és nem öntözött területeken.

Eredményeim szerint a felszíntakarás hatékony eszköz az időjárási szélsőségek elleni védekezésben, a mesterséges beavatkozások káros hatásainak csökkentésében, valamint a talajélet megóvása érdekében. E megoldás kiterjedt alkalmazása javasolható nem csak mélyben sós szolonyeces talajon, hanem számos olyan talajon és termőhelyen, ahol időjárási jelenségek vagy termesztési beavatkozások veszélyeztetik a termesztés biztonságának fenntartását.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az öntözés célja a hiányzó természetes csapadék pótlása a termésbiztonság, hozamnövekedés és a megfelelő minőség elérésének érdekében. Napjainkban az egyre szélsőségesebb csapadékviszonyok miatt az öntözésfejlesztés kérdése kiemelten aktuális. Hazánkban jelenleg közel kétszázezer hektár rendelkezik öntözési vízjogi engedéllyel, amelynek jellemzően a felét öntözik ténylegesen. Az öntözéssel kijuttatott vízmennyiség kétharmada esőztető módon, elsősorban lineár berendezéssel, másodsorban öntöződobos berendezéssel történik. Az öntözésfejlesztési támogatásoknak köszönhetően tovább fog bővülni az öntözött területek nagysága, azon belül az esőztető berendezések számának további növekedése várható.

Az öntözés környezetre gyakorolt hatása változó. Hatását az öntözővíz minőségén és mennyiségén keresztül fejti ki. A természetes csapadék cseppméreténél nagyobb vízcseppek számszerűsíthető mértékben fokozzák a talaj tömörödését, a nem megfelelő minőségű öntözővíz használata pedig talajdegradációs folyamatokhoz vezet. Gyakran számolni kell a kéregképződés kockázatával, ennek következtében nagyobb felszíni elfolyással, akadályozott víz beszivárgással, valamint a szikesedés kockázatával. Ugyanakkor a szakszerűen végzett öntözési tevékenység a kedvezőbb hőmérsékleti és nedvességviszonyoknak köszönhetően hozzájárul a talajélet élénküléséhez. Kutatásaim arra irányultak, hogy öntözött körülmények között, egyéb tényezők mellett, úgymint szerves talajtakarás és művelési eredetű talajtömörödés esetén milyen változások tapasztalhatók a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban és ezek hogyan hatnak a talajéletre? A feltett kérdésekre az alábbi válaszokat fogalmaztam meg:

1. A lineár és dobos öntözés között a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban kimutatható-e eltérés egymáshoz és kontrollhoz képest? - A talaj kémiai tulajdonságait két szempont alapján vizsgáltam meg. Egyrész összehasonlítottam az kísérleti terület öntözési beruházást megelőző talajkémiai paramétereit a néhány évvel később megismételt vizsgálatok eredményeivel. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy többéves öntözési tevékenység nem okozott kimutatható változásokat a talaj kémiai tulajdonságaiban egyik öntözési kezelés esetében sem. A másik vizsgálati szempontom az volt, hogy az egyes öntözési, mulcsozási és mesterséges talajtömörödéssel érintett kezelések között megfigyelhető-e eltérés? A vizsgálati eredmények szerint a kezelések rövid távon sem az Arany-féle kötöttségi számban, sem a vizsgált kémia paraméterekben nem okoztak változásokat. A talaj jellemző tulajdonságaiban évszakokként jelentős mértékű változás csupán a penetrációs értékekben volt tapasztalható. Az

öntözés nyáron minden kezelésben kedvezőbb talajellenállási értékeket biztosított a kontrollhoz képest. Ősszel a fokozott mennyiségű víz beszivárgása és felszíni szerkezetromlás miatt a kontroll kezelés adatai mutattak kedvezőbb képet.

2. A három öntözési móddal kezelt táblán belül alakítottam ki szalmával takart és nem takart területeket. A kérdés az volt, a felszíntakarás miként hat a talajnedvességre és a penetrációs ellenállásra. - Megállapítottam, hogy a különböző öntözési kezelésekben talajtakarás évszakonként eltérő hatást gyakorolt a talaj penetrációs ellenállására. A nyár időszakban az öntözési kezelések hatását kiegyenlítette, alkalmazása mellett a kontrol és az öntözési eredmények gyakorlatilag nem különböztek egymástól a művelési eredetű talajtömörödéssel nem érintett talajon. A kiegyenlítő hatás az öntözést követő időszakban is kimutatható volt némileg nagyobb különbségekkel. Lényeges változások a nem mulcsozott kezelések nyári és őszi értékeiben következtek be, különösen a lineár öntözés esetében. A nyári időszakban a nem mulcsozott lineár kezelés a legfelső réteg kivételével minden évben jelentősen kedvezőbb eredményeket mutatott az összes többi kezeléshez képest, beleértve a mulcsozott kezeléseket is. Ellenben az őszi időszakra ugyanez a kezelés vélhetően a lassú beszivárgás következtében, a többi öntözési kezeléshez képest leghatékonyabb vízkijuttatási mutatókkal, hasonló talajellenállás értékekkel jellemezhető ülepedést okozott, mint az öntöződobos kezelés esetében.

3. Az öntözési módok között a földigiliszták számában tapasztalható eltérés? - A kutatási időszak eredményeit összegezve az előzetes feltételezésemtől nagyban eltérő eredményeket kaptam az öntözés és a földigiliszta egyedszám vonatkozásában. A feltételezesem szerint az öntözött területen magasabb földigiliszta egyedszám várható, mint a nem öntözött talajban. A kontroll terület talajának őszi adatai azonban jelentős mértékben meghaladták az öntözött talajokon észlelt földigilisztaszámot.

4. A földigiliszták bőségében tapasztalható esetleges eltérések a talajtulajdonságokban bekövetkezett változásokkal magyarázhatók-e vagy nem? - A földigiliszták őszi megnövekedett aktivitása és a nem öntözött kezelés kedvezőbb őszi talajellenállási értékei együttesen olyan földigiliszta többlet eredményezett, amely szignifikánsan meghaladta az öntözött (LÖ, DÖ) kezelésekben mérhető földigiliszta előfordulást a teljes kutatási időszakra vonatkoztatva. Mivel a talaj más egyéb kémiai és fizikai tulajdonságaiban nem volt kimutatható eltérés sem a korábbi időszakra vonatkozóan, sem a kezelések következtében, ezért megállapítható, hogy az ősszel megfigyelt földigiliszta bőség a nem öntözött kezelésben a talaj kedvezőbb penetrációs értékeinek volt köszönhető.

5. A talajtakarás befolyásolta-e földigiliszták előfordulását? Nyáron, amely a földigiliszták számára nyugalmi időszak, a mulcsozott kezelésekben jelentősen nagyobb földigiliszta egyedszámot észleltem, mint a nem mulcsozott kezelésben. A nyugalmi időszak és az észlelt földigiliszta bőség azért nem jelent ellentmondást, mert a felszíntakarást egész évben fenntartottam. A felszíntakarás védelmet nyújtott a földigiliszták számára az időjárási szélsőségek ellen, így a tavaszi aktív időszakot követően több egyed talált itt nyári búvóhelyet magának. Az őszi eredményekben nem volt tapasztalható különbség a két kezelés között, amely a földigiliszták megnövekedett aktivitásával és a nyárra jellemző időjárási szélsőségek megszűnésével magyarázható.

6. Hogyan befolyásolja a művelési eredetű talajtömörödés a földigiliszták egyedszámát és bőségét? - A művelési eredetű talajtömörödéssel érintett területek és a nem érintett területek földigiliszta előfordulási értékeiben összességében szignifikáns különbség nem alakult ki. A nyári időszakban a taposott kezelésekben volt magasabb a földigiliszta egyedszám. A talajtömörödéssel érintett sávoknak ugyanis jelentősen magasabb volt ebben az időszakban a nedvességtartalma a nem taposott sávokhoz viszonyítva, vagyis a nedvesség vélhetően enyhítette a tömörödés kedvezőtlen hatását. Őszre a két kezelés nedvességtartalma kiegyenlítődött, így magasabb földigiliszta egyedszámot mutattam ki a lazább, művelési eredetű talajtömörödéssel nem érintett sávokban.

7. SUMMARY

The purpose of irrigation is to supplement the missing natural precipitation in order to achieve crop security, increasing yields and to reach appropriate crop quality. Nowadays, the issue of irrigation development due to the increasingly extreme rainfall conditions is especially up-to-date. In Hungary, there are currently nearly two hundred thousand hectares of land with irrigation permits, however, only half of this is actually irrigated. Two-thirds of the irrigation is carried out as sprinkler irrigation, primarily by linear equipment, and secondarily by drum irrigation. Thanks to irrigation development subsidies, the size of the irrigated lands will increase, within that the number of sprinkler irrigation equipment used will probably further increase.

The impact of irrigation on the environment is variable, its effect depends on the quality and quantity of irrigation water. Water droplets that are larger than the size of natural precipitation increase the compaction of the soil to a quantifiable extent, and the use of irrigation water with poor quality leads to soil degradation processes. The risk of crust formation has to be often taken into account, as a result increased surface run-off, prevented water infiltration, and salinization can occur. At the same time, irrigation carried out in a professional way can contribute to the revitalization of soil life due to more favorable temperature and moisture conditions. My research has focused on the changes in the physical and chemical properties of soil under irrigated conditions, among other factors, such as organic mulching and soil compaction due to cultivation, and how do these affect soil life? Therefore, during the planning of my experiment, the following questions were raised:

1. Is there any difference in the physical and chemical properties of the soil between linear and drum irrigation compared to each other and the control? - The soil chemical properties were examined based on two aspects. On one hand, I compared the soil chemical parameters of the experimental area before the irrigation investment with the results of the experiment repeated a few years later. Based on the results, I concluded that several years of irrigation did not cause any detectable changes in the chemical properties of the soil in any of the irrigation treatments. The other aspect of my study was to examine whether there was any detectable difference among the treatments where different irrigation methods, organic mulching, and artificial soil compaction were carried out. According to the results of the study, the treatments did not cause any changes in the short-term neither in the textural class, nor in the examined soil chemical parameters. Significant changes in soil characteristics over the seasons were only observed in soil penetration resistance (SPR) values. Irrigation in the summer

provided more favorable soil resistance values in all treatments compared to the control. In autumn, due to the increased amount of water infiltration and surface structural deterioration, the data of the control treatment showed more favorable values.

2. Within the field treated with the three irrigation methods, areas were designated with and without straw mulch. The question was, how does surface mulch affect soil moisture and SPR? - I found that in the different irrigation treatments, soil mulching had different effect on SPR from season to season. In the summer period, the effect of irrigation treatments was balanced by mulching, and the control and irrigated areas were not different on the soil not affected by compaction. The balancing effect was also observed in the post-irrigation period with slightly larger differences. Significant changes occurred in the summer and autumn values of unmulched treatments, especially in case of the linear irrigation. During the summer, the unmulched linear treatment showed significantly better results than all other treatments, including the mulched treatments, every year except for the top soil layer. In contrast, for the autumn period, the same treatment showed similar SPR values as in the case of the irrigation drum treatment. The reason for this is presumably caused by sedimentation in the deeper soil layers in most of the studied years due to the slow infiltration.

3. Is there any difference in the abundance of earthworms between irrigation methods? - Summarizing the results of the research, the obtained results differed greatly from my preliminary assumption regarding irrigation and the abundance of earthworms. According to my hypothesis, higher earthworm abundance was expected in the irrigated area than in the non-irrigated ones. However, the autumn data of the soil in the control area significantly exceeded the abundance of earthworms observed on the irrigated soils.

4. Can the differences in the abundance of earthworms be explained by changes in soil properties or not? - The increased activity of earthworms in autumn and the more favorable SPR values in autumn of the non-irrigated treatment together resulted in a surplus of earthworms which significantly exceeded the abundance of earthworms in irrigated (linear and drum) treatments for the entire research period. Since there were not any differences in other chemical and physical properties of the soil for the previous period or as a result of the treatments, thus, it can be concluded that the abundance of earthworms observed in autumn was due to better SPR values in the non-irrigated soil.

5. Did soil mulching affect the occurrence of earthworms? In the summer, which is a dormant period for earthworms, I observed significantly higher abundance of earthworms in the mulched than in the unmulched treatment. The dormancy period and the abundance of earthworms observed are not a contradiction because I maintained the surface mulching throughout the year. The mulch cover provided protection for earthworms against weather extremes, thus, several individuals could find summer shelters here after the active spring period. There was no difference in the autumn results between the two treatments, which can be explained by the increased activity of earthworms and the cessation of weather extremes typical of summer.

6. How does cultivation-induced soil compaction affect the number and abundance of earthworms? - Overall, there was no significant difference in the abundance of earthworms in compacted and in non-compacted areas. The number of earthworms was higher in the compacted treatments during the summer. Indeed, the moisture content of the lanes affected by compaction was significantly higher during this period compared to the non-compacted lanes, ie. the soil moisture presumably mitigated the adverse effects of compaction. By autumn, the moisture content of the two treatments had leveled off, thus, I could detect higher earthworm abundance in the looser, non-compacted lanes.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

ADEKALU, K. - OLORUNFEMI I. – OSUNBITAN, A. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology* 98(4). pp. 912-917.

AHMAD, N. – HASSAN, F. – BELFOR, R. 2009a. Effect of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (Triticum Aestivum): I. Compaction. *Field Crops Research* 110(1). pp. 54-60.

AHMAD, N. – HASSAN, F. – BELFOR, R. 2009b. Effects of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (Triticum Aestivum). II: Alleviation. *Field Crops Research* 110(1). pp. 61-68.

AKHTAR, K. - WANG, W. - REN, G. - KHAN, A. - FENG, Y. - ANG, G. WANG, H. 2019. Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production. *Environment International* 132. pp. 105092.

AL-QINNA, M. - ABU-AWWARD A. 1998. Soil water storage and surface runoff as influenced by irrigation method in arid soils with surface crust. *Agricultural Water Management* 37(3). pp. 189-203.

ALAKUKKU, L. - WEISSKOPF, L. - CHAMEN, W. - TIJINK, F. - VAN DER LINDEN, J. - PIRES, S. - SOMMER, C. – SPOOR, G. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review part 1. Machine/soil Interactions. *Soil and Tillage Research*. 73. pp. 145-160

ALAOUI, A. - ROGGER, M. - PETH, S. – BLÖSCHL, G. 2018. Does soil compaction increase floods? A Review. *Journal of Hydrology* 557. pp. 631-642.

ALLIAUME, F. - ROSSING, W. - TITTONELL, P. - JORGE, G. – DOGLIOTTI, S. 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 183. pp.127-137.

ARCHER, J. - SMITH. P. 1973. The relation between bulk density, available water capacity and air capacity of soils. *Journal of Terramechanics* 10(4). p. 61.

ASSOULINE, S. - TESSIER, D. - TAVARES-FILHO, J. 1997. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. *Soil Science Society of America Journal* 61(2). pp. 390-398.

BAHCECI, I. – NACAR, A. 2009. Subsurface drainage and salt leaching in irrigated land in

South-East Turkey. *Irrigation and Drainage* 58(3). pp. 346-356.

BALDIVIESO-FREITAS, P. - BLANCO-MORENO, J. - GUTIÉRREZ-LÓPEZ, M. - PEIGNÉ, J. - PÉREZ-FERRER, A. - TRIGO-AZA, D. – SANS, F. 2018. Earthworm abundance response to conservation agriculture practices in organic arable farming under Mediterranean climate. *Pedobiologia* 66. pp. 58-64.

BARRACLOUGH, P. – WEIR, A. 1988. Effects of a compacted subsoil on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. *The Journal of Agricultural Science* 110(2). pp. 207-216.

BART, S. - PELOSI, C. – PÉRY, A. 2019. Towards a better understanding of the life cycle of the earthworm Aporrectodea caliginosa: New data and energy-based modelling. *Pedobiologia* 77. pp. 150592.

BARZEGAR, A. - NADIAN, H. - HEIDARI, F. - HERBERT, S. – HASHEMI, A. 2006. Interaction of soil compaction, phosphorus and zinc on clover growth and accumulation of phosphorus. *Soil and Tillage Research* 87(2). pp. 155-162.

BERTRAND, M. - BAROT, S. - BLOUIN, M. - WHALEN, J. - DE OLIVEIRA, T. - ROGER-ESTRADE, J. 2015. Earthworm services for cropping systems. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 35. pp. 553-567.

BINET, F. – TREHEN, P. 1992. Experimental microcosm study of the role of Lumbricus terrestris (Oligochaeta: Lumbricidae) on nitrogen dynamics in cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12). pp. 1501-1506.

BIRKÁS, M. 1993. Talajművelés. *In: Földművelestan (Szerk.: Nyiri L.). Mezőgazda Kiadó, Budapest* pp. 96-191.

BIRKÁS, M. 1996. Talajaink állapota és a cukorrépa talajművelése. *Cukoripar* 2. pp. 48-52.

BIRKÁS, M. 1998. A művelés és a talajállapot jelentősége a cukorrépa-termesztésben. *Cukoripar* 2. pp. 60-65.

BIRKÁS, M. 2000. A talajtömörödés helyzete Magyarországon; következményei és enyhítésének lehetőségei. *MTA Doktori Értekezés, Gödöllő.*

BIRKÁS, M. 2001. A Talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. *In: Talajművelés a Fenntartható Gazdálkodásban (Szerk. Birkás, M.) Akaprint Nyomdaipari Kft.* pp. 99-120.

BIRKÁS, M. 2006a. Környezetkímélő, alkalmazkadó művelés és talajhasználat. *In: Környezetkímélő Alkalmazkodó Talajművelés. (Birkás M. – Antos G. – Neményi M. – Szemők A.) Akaprint Nyomdaipari Kft., Budapest.* pp. 283-302.

BIRKÁS, M. 2006b. A talajállapot minősítése. *In: Környezetkímélő, alkalmazkodó talajművelés. (Birkás M. – Antos G. – Neményi M. – Szemők A.) Akaprint Nyomdaipari*

Kft., Budapest pp. 11-65.

BIRKÁS, M. - BIRÓ, B. - KISIĆ, I. – STIPEŠEVIĆ, B. 2011. The importance of the soil microbial status – A review of research and practical experience in the Pannonian region. *Soil Tillage and Microbial Activities (Ed.: Miransari, M.)* pp. 19-36.

BIRKÁS, M. - ĐEKEMATI, I. - KENDE, Z. – PÓSA, B. 2017. Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 66. pp. 55-64.

BIRKÁS, M. - ĐEKEMATI, I. - KENDE, Z. - RADICS, Z. – SZEMŐK, A. 2018. A sokszántásos műveléstől a direktvetésig – Előrehaladás a talaj művelésében és védelmében. *Agrokémia és Talajtan* 67(2). pp. 253-268.

BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. 2008. A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggései. *In: Klímaváltozás: Környezet - kockázat - társadalom. Kutatási eredmények.* Szaktudás kiadó. pp. 131-151.

BIRKÁS, M. - JOLÁNKAI, M. - GYURICZA, CS. – PERCZE, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research* 78(2). pp. 185-196.

BIRKÁS, M. - JOLÁNKAI, M. – KISIĆ, I. – STIPEŠEVIĆ, B. 2008. Soil tillage needs a radical change for sustainability. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 73(3). pp. 131-136.

BOCKTUS, W. – SHROYER, J. 1998. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogenens. *Annual Review of Phytopathology* 36. pp. 435-500.

BOGUNOVIĆ, I. - FERNANDEZ, M. - KISIĆ, I. - MARIMÓN, M. 2019. Agriculture and grazing environments. *Chapter Two. In: Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection 4.* pp. 23-70.

BOGUNOVIĆ, I. - PEREIRA, P. - KISIĆ, I. - SAJKO, K. – SRAKA, M. 2018. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena* 160. pp. 376-384.

BONFANTE, A. - MONACO, E. - MANNA, P. - DE MASCELLI, R. - BASILE, A. - BUONANNO, M. - CANTINELA, G. - ESPOSITO, A. - TEDESCHI, A. - DE MICHELE, C. - BELFIORE, O. - CATAPANO, I. - LUDENO, G. SALINAS, K. – BROOK, A. 2019. LCIS DSS - An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. *Agricultural Systems* 176. pp. 102646.

BOTTINELLI, N. - HALLAIRE, V. - MENASSERI-AUBRY, S. - GUILLOU, C. – CLUZEAU, D. 2010. Abundance and stability of belowground earthworm casts influenced by tillage intensity and epth. *Soil and Tillage Research* 106(2). pp. 263-267.

BOTTLIK, L. 2017. Őszi talajkárok – művelési megoldások. *Agronapló* 2. p.33.

BOTTLIK, L. - CSORBA, SZ. - GYURICZA, CS. - KENDE, Z. – BIRKÁS, M. 2014. Climate challenges an solutions in soil tillage. *Applied Ecology and Environmental Research* 12(1). pp. 13-23.

BOTTLIK, L. - KALMÁR, T. - CSORBA, SZ. - SZEMŐK, A. – BIRKÁS, M. 2012. Talajművelés új Szemlélete - a precíziós növénytermesztés alapjai. *Agrártudományi Közlemények* 49. pp. 123-127.

BOUCHÉ, M. 1972. Lombriciens de France: Écologie et Systématique. *INRA, Paris*.

BROWN, G. - BAROIS, G. – LAVELLE, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activityin the drilosphere and the role of interactionswith other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36(3-4). pp. 177-198.

BRUSSAARD, L. - VAN FASSEN, H. 1994. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. *Soil Compaction in Crop Production* 11. pp. 215-235.

BUESA, I. - MIRÁS-AVALOS, J. - DE PAZ, J. - VISCONTI, F. - SANZ, F. - YEVES, A. - GUERRA, D. – INTRIGLIOLO, D. 2021. Soil management in semi-arid vineyards: Combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes. *European Journal of Agronomy* 123. pp. 126198.

BURNS, R. – DICK, R. 2002. Enzymes in the environment: Activity, ecology, and applications. *Books in Soils, Plants, and the Environtment - CRC Press.*

BÜCHI, L. - WENDLING, M. - AMOSSÉ, C. - JEANGROS, B. – CHARLES, R. 2020. Cover crops to secure weed control strategies in a maize crop with reduced tillage. *Field Crops Research* 247. pp. 107583.

CASTRO, J. - BARREAL, M. - BRIONES, M. – GALLEGO, P. 2019. Earthworm communities in conventional and organic fruit orchards under two different climates. *Applied Soil Ecology* 144. pp. 83-91.

CERDÁ, A. - NOVARA, A. – MORADI, E. 2021. Long-term non-sustainable soil erosion rates and soil compaction in drip-irrigated citrus plantation in Eastern Iberian Peninsula. *Science of The Total Environment* 787. pp. 147549.

CHAMEN, W. - MOXEY, A. - TOWERS, W. - BALANA, B. – HALLETT, P. 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research* 146 Part A. pp. 10-25.

CHAN, K. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - Implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research* 57(4). pp. 179 - 191.

CHEN, Q. - LIU, Z. - ZHOU, J. - XU, X. – ZHU, Y. 2021. Long-term straw mulching with nitrogen fertilization increases nutrient and microbial determinants of soil quality in a maize–wheat rotation on China's Loess Plateau. *Science of The Total Environment* 775. pp. 145930.

CHEN, X. - LIANG, A. - WU, D. - McLAUGHLIN, N. - JIA, S. - ZHANG, S. - ZHANG, Y. – HUANG, D. 2021. Tillage-induced effects on organic carbon in earthworm casts through changes in their physical and structural stability parameters. *Ecological Indicators* 125. pp. 107521.

COLOMBI, T. – KELLER, T. 2019. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction - A plant eco-physiological perspective. *Soil and Tillage Research* 191. pp. 156-161.

COLOMBI, T. - ORRES, L. - WALTER, A, - KELLER, T. 2018. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – A vicious circle. *Science of the Total Environment* 626. pp. 1026-1035.

CRAMER, N. - PLASSMAN, B. - BENNETT, M. - WOOD, R. - STINNER, B. – CARDINA, J. 1995. A method for mechanically killing cover crops to optimize weed suppression. *American Journal of Alternative Agriculture* 10(4). pp. 157-162.

CRITTENDEN, S. - ESWARAMURTHY, T. - DE GOEDE, R. - BRUSSAARD, L. – PULLEMAN, M. 2014. Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology* 83. pp. 140-148.

CRYSTAL-ORNELAS, R. - THAPA, R. – TULLY, R. 2021. Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 312. pp.107356.

CUI, J. – HOLDEN, N. 2015. The relationship between soil microbial activity and microbial biomass, soil structure and grassland management. *Soil and Tillage Research* 146 Part A. pp. 32-38.

CSEKŐ, G. 1976. Az esőszerű öntözés minőségének javítása a cseppenergia figyelembevételével. *MTA Agrártudományi Közlemények.* 35. pp. 593-607.

CSELŐTEI, L. 2005. Az öntözés története Magyarországon (1935-2005) - Fejlesztés, fejlődés, jövőkép. *Hidrológiai Közlöny* 5. pp. 37-40.

CSELŐTEI, L. - KARAI, J. - RÉDAI, I. – SZABÓ, D. 1980. Az öntözőberendezések automatizálási lehetőségei. *Agrártudományi Közlemények* 22.(1–2). pp. 17-39.

CSUZDI, CS. 2007. Magyarország földigliszta-faunájának áttekintése (Oligochaeta, Lumbricidae). *Állattani Közlemények* 92(1). pp. 3-38.

CSUZDI, CS. 2012. Earthworm species, a searchable database. *Opuscula Zoologica Budapest* 43(1). pp. 97-99.

CSUZDI, CS. - ZICSI. A. 2003. Earthworms of Hungary (Annelida: Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedozoologica Hungarica (1) Budapest*.

DEAN, G. – MERRY, A. 2015. Comparison of stubble management strategies in the high rainfall zone. *In 17th Australian Society of Agronomy Conference.* pp. 1-4.

ĐEKEMATI, I. - SIMON, B. - BOGUNOVIC, I. - KISIĆ, I. - KASSAI, K. - KENDE, Z. – BIRKÁS, M. 2020. Long term effects of ploughing and conservation tillage methods on earthworm abundance and crumb ratio. *Agronomy* 10(10). pp. 1552.

ĐEKEMATI, I. - SIMON, B. - BOGUNOVIC, I. - VINOGRADOV, SZ. - MODIBA, M. - GYURICZA, CS. – BIRKÁS, M. 2021. Three-year investigation of tillage management on the soil physical environment, earthworm populations and crop yields in Croatia." *Agronomy* 11(5).

ĐEKEMATI, I. - SIMON, B. - VIGANOV, SZ. – BIRKÁS, M. 2019. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil and Tillage Research* 194. pp. 104334.

DEMETER, E. -szerk. 2020. Statisztikai jelentések - Öntözésjelentés 2019. Év. *In: Tájékoztató jelentés az öntözésről - NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Bp.* XXIII(1). pp. 1-19.

DEMO, M. 2001. A fenntartható mezőgazdasági rendszerek talajművelési és növénytermesztési sajátosságai. *In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Szerk.: Birkás Márta. Szent István Egyetem – Gödöllő.* pp. 47-70.

DOMÍNGEZ, J. - BOHLEN, P. - PARMELEE, R. 2004. Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems* 7(6). pp. 672-685.

DOUBE, B. - BUCKERFIELD, J. – KIRKEGAARD, J. 1994. Short-term effects of tillage and stubble management on earthworm populations in cropping systems in southern New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research* 45(7). pp. 1587-1600.

DU, Z. - REN, T. - HU, C. - ZHANG, Q. 2015. Transition from intensive tillage to no-till enhances carbon sequestration in microaggregates of surface soil in the North China Plain. *Soil and Tillage Research* 146 Part A. pp. 26-31.

EDWARDS, C. – BOHLEN, P. 1995. Biology and ecology of earthworms. *Chapman and Hall, London.*

EDWARDS, C. – LOFTY, J. 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 14(5). pp. 515-521.

ELIAS, D. - WANG, L. – JACINTHE, P.A. 2018. A meta-analysis of pesticide loss in runoff

under conventional tillage and no-till management. *Environmental Monitoring and Assessment* 190. p. 79.

EMDAD, M. - RAINE, S. - SMITH, R. – FARDAD, H. 2004. Effect of water quality on soil structure and infiltration under furrow irrigation. *Irrigation Science* 23. pp. 55-60.

EUTENEUER, P. - WAGENTRISTL, H. - STEINKELLNER, S. - FUCHS, M. - ZALLER, J.G. – PIEPHO H. – BUTT, K. 2020. Contrasting effects of cover crops on earthworms: Results from field monitoring and laboratory experiments on growth, reproduction and food choice. *European Journal of Soil Biology* 100. pp. 103225.

FAN, J. - LU, X. - GU, S. - GUO, X. 2020. Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China. *Agricultural Water Management* 241. pp. 106352.

FAN, J. - McCONKEY, B. - St. LUCE, M. - BRANDT, K. 2020. Rotational benefit of pulse crop with no-till increase over time in a semiarid climate. *European Journal of Agronomy* 121. pp. 126155.

FAROOQ, M. - FLOWER, K. - JABRAN, K. - WAHID, A. - SIDDIQUE, K. 2011. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil and Tillage Research* 117. pp. 172-183.

FEHÉR, D. - VARGA, L. - HANK, O. 1954. Talajbiológia. *Akadémai Kiadó - Budapest* p. 907.

FEKETE, Z. 1958. *Talajtan és trágyázástan*. Budapest - Mezőgazdasági Kiadó.

FERLIAN, O. - EISENHAUER, N. - AGUIRREBENGOA, M. - CAMARA, M. - RAMIREZ-ROJAS, I. - SANTOS, F. - TANALGO, K. - THAKUR, M. 2018. Invasive earthworms erode soil biodiversity: A meta-analysis. *Journal of Animal Ecology* 87. pp. 162-172.

FROUZ, J. - SPALDONOVÁ, A. - FRICOVÁ, K. - BARTUSKA, M. 2014. The effect of earthworms (Lumbricus Rubellus) and simulated tillage on soil organic carbon in a long-term microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 78. pp. 58-64.

FU, X. - WANG, J. - SAINJU, U. - ZHAO, F. - LIU, W. 2019. Soil microbial community and carbon and nitrogen fractions responses to mulching under winter wheat. *Applied Soil Ecology* 139. pp. 64-68.

GABRIEL, J. - GARCÍA-GONZÁLEZ, I. - QUEMADA, M. - MARTIN-LAMMERDING, D. - ALONSO-AYUSO, M. - HONTORIA, C. 2021. Cover crops reduce soil resistance to penetration by preserving soil surface water content. *Geoderma* 386. pp. 114911.

GARCIA-FRANCO, N. - ALBALADEJO, J. - ALMAGRO, M. - MARTÍNEZ-MENA, M. 2015. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage*

Research 153. pp. 66-75.

GHOLAMHOSEINI, M. - AGHAALIKHANI, M. - MODARRESSANAVY, S. - MIRLATIFI, S. 2013. Interactions of irrigation, weed and nitrogen on corn yield, nitrogen use efficiency and nitrate leaching. *Agricultural Water Management* 126. pp. 9-18.

GIANNITSOPOULOS, M. - BURGESS, P. - RICKSON, R. 2019. Effects of conservation tillage drills on soil quality indicators in a wheat - oilseed rape rotation: organic carbon, earthworms and water - stable aggregates. *Soil Use Management* 36(1). pp. 139-152.

GRAVES, A. - MORRIS, J. - DEEKS, L. - RICKSON, R. - KIBBLEWHITE, M. - HARRIS, J. - FAREWELL, T. - TRUCKLE, I. 2015. The total costs of soil degradation in England and Wales. *Ecological Economics* 119. pp. 399-413.

GROFFMAN, M. - FAHEY, T. - FISK, M. - YAVITT, J. - SHERMAN, R. - BOHLEN, P. - MAERZ, J. 2015. Earthworms increase soil microbial biomass carrying capacity and nitrogen retention in northern hardwood forests. *Soil Biology and Biochemistry* 87. pp. 51-58.

GRZESIAK, S. - GRZESIAK, M.T. - HURA, T. - MARCINSKA, I. - RZEPKA, A. 2013. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany* 88. pp. 2-10.

GUAO, L. - WU, G. - LI, Y. - LI, C. - LIU, W. - MENG, J. - LIU, H. - YU, X. - JIANG, G. 2016. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat - maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research* 156. pp. 140-147.

GYURICZA, CS. 2001. A Fenntartható talajművelés talajfizikai és biológiai alapjai. *In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban (Szerk. Birkás, M.). Akaprint Nyomdaipari Kft.* pp. 71-98.

HAKANSSON, I. - REEDER, R. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research* 29(2–3). pp. 277-304.

HAMZA, M. - ANDERSON, W. 2005. Soil compaction in cropping systems: A Review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82(2). pp. 121-145.

HAO, J. - LIN, Y. - REN, G. - YANG, G. - HAN, X. - WANG, X. - REN, C. - FENG, Y. - 2021. Comprehensive benefit evaluation of conservation tillage based on BP neural network in the Loess Plateau. *Soil and Tillage Research* 205. pp. 104784.

HELYES, L. 2005. Az öntözési időpont meghatározásának lehetősége. *Hajtatás - Korai Termesztés, Tudományos dolgozatok a gyakorlat számára* 36. pp. 18-21.

HENEGHAN, L. - STEFFEN, J. - FAGEN, K. 2007 Interactions of an introduced shrub and introduced earthworms in an Illinois urban woodland: Impact on leaf litter decomposition. *Pedobiologia* 6(50). pp. 543-451.

HERKE, S. 1962. A hidrológiai viszonyok szerepe a Duna-Tisza közötti szikesek keletkezésében." *MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei* 21. pp. 155-180.

HORN, R. - DOMZZAL, H. - SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A. - VAN OUWERKERK, C. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research* 35(1-2). pp. 23-36.

HÖRCHER, F. 1979. Öntözés előtti talajnedvesség - potenciál (PF) küszöbértékek nagy terméseredmények eléréséhez. *Vízügyi Közlemények* 4. füzet. pp. 601-611.

HUISZ, A. - TÓTH, T. - NÉMETH, T. 2009. Normalized stability index and mean weight diameter in a combined nitrogen fertilization x irrigation experiment on Hungarian chernozem soil. *Cereal Research Communications, Conference: Alps-Adria Workshop* 37. pp. 443-446.

HUNT, H. - WALL, D. 2002. Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. *Global Change Biology* 8. pp. 33-50.

HUSSIAN, I. 2007. Poverty - reducing impacts of irrigation: Evidence and lessons. *Irrigation and Drainage* 2-3. pp. 147-164.

JERNIGAN, A. - WICKINGS, K. - MOHLER, C. - CALDWELL, B. - PELZER, C. - WAYMAN, S. - RYAN, M. 2020. Legacy effects of contrasting organic grain cropping systems on soil health indicators, soil invertebrates, weeds, and crop yield. *Agricultural Systems* 177. pp. 102719.

JOLÁNKAI, M. 2001. A fenntartható gazdálkodás és növénytermesztés. *In: Talajművelés a Fenntartható Gazdálkodásban (Szerk.: Birkás, M.) Akaprint Nyomdaipari Kft.* pp. 15-45.

JOLÁNKAI, M. 2017. A földművelés fejlődésének rövid töténete. *In: Birkás, M. - Földművelés és Földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest* pp. 15-23.

JOLÁNKAI, M. – BIRKÁS, M. 2010. Szárazodás, aszály és a növénytermelés. *„Klíma-21" Füzetek, Klímaváltozás – Hatások – Válaszok* 59. pp. 26-32.

JONES, C. - LAWTON, J. - SHACHAK, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *In: Ecosystem Management - Oikos* 69(3). pp. 130-147.

JOUQUET, P. - DAUBER, J. - LAGERLÖF, J. - LAVELLE, P. - LEPAGE, M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology* 32(2). pp. 153-164.

JOURGHOLAMI, M. - FEGHHI, J. - PICCHIO, R. - TAVANKAR, F. - VENANZI, R. 2021.

Efficiency of leaf litter mulch in the restoration of soil physiochemical properties and enzyme activities in temporary skid roads in mixed high forests. *Catena* 198. pp. 105012.

JUHÁSZ, J. 2011. A mezőgazdaság jövőbeni vízhasználata. *Hidrológiai Közlöny* 91(5). pp. 12-16.

KADZIENE, G. - SUPRONIENE, S. - AUSKALNIENE, O. - PRANAITIENE, S. - SVEGZDA, P. - VERSULIENE, A. - CESEVICIENE, J. - JANUSAUSKAITE, D. - FEIZA, V. 2020. Tillage and cover crop influence on weed pressure and Fusarium infection in spring cereals. *Crop Protection* 127. pp. 104966.

KANG, S. - LIANG, Z. - PAN, Y. - SHI, P. - ZHANG, J. 2000. Alternate furrow irrigation for maize production in arid area. *Agricultural Water Management* 45(3). pp. 267-274.

KAO, L. - GREEN, C. 2008. Is there a difference in means and what does it mean? *Journal of Surgical Research* 144(1). pp. 158-170.

KARLEN, D. - WOLLENHAUPT, N. - ERBACH, D. - BERRY, E. - SWAN, J. - EASH, N. - JORDAHL, J. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10 - years of no-till corn. *Soil and Tillage Research* 31(2-3). pp. 149-167.

KASSAM, A. - FRIEDRICH, T. - SHAXSON, F. - PRETTY, J. 2009. The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(4). pp. 292-320.

KAZEMEINI, S. - BAHRANI, M. - PIRASTEH-ANOSHEH, H. - MOMENI, S. 2014. Maize growth and yield as affected by wheat residues and irrigation management in a no tillage system. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(11). pp. 1543-1552.

KHOZAEI, M. - KAMGAR HAGHIGHI, A. - ZAND PARSA, S. - SEPASKHAH, A. - RAZZAGHI, F. - YOUSEFABADI, V. - EMAM, Y. 2020. Evaluation of direct seeding and transplanting in sugar beet for water productivity, yield and quality under different irrigation regimes and planting densities. *Agricultural Water Management* 238. pp. 106230.

KLADIVKO, E. - AKHOURI, N. - WEESIES, G. 1997. Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biology and Biochemistry* 29(3-4). pp. 613-615.

KOGUT, Z. - SERGIEL, L. 2021. The effect of roller pressure and share of plant matter in mulching soil cultivation on its density and water content. *Journal of Terramechanics* 97. pp. 119-131.

KORUCU, T. - SHIPITALO, M. - KASPAR, T. 2018. Rye cover crop increases earthworm populations and reduces losses of broadcast, fall-applied, fertilizers in surface runoff. *Soil*

and Tillage Research 180. pp. 99-106.

LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304(5677). pp. 1623-1627.

LAVELLE, P. - BIGNELL, D. - LEPAGE, M. - WOLTERS, V. - ROGER, P. - INESON, P. - HEAL, O. - DHILLION, S. 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science* 33. pp. 159-193.

LEE, K. 1985. Their ecology and relationships with solis and land use. *Academic Press, Sydney* p. 411.

LEES, K. - McKENZI, A. - NEWELL PRICE, J. - CRITCHLEY, C. - RHYMER, C. - CHAMBERS, B. - WHITTINGHAM, M. 2016. The effects of soil compaction mitigation on below - ground fauna: How earthworms respond to mechanical loosening and power arrow cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 232. pp. 273-282.

LI, Y. - DUAN, X. - LI, Y. - LI, Y. - ZHANG, L. 2021. Interactive effects of land use and soil erosion on soil organic carbon in the dry - hot valley region of Southern China. *Catena* 201. pp. 105187.

LI, Y. - DUAN, Y. - WANG, G. – WANG, A. - SHAO, G. - MENG, X. - HU, H. - ZHANG, D. 2021. Straw alters the soil organic carbon composition and microbial community under different tillage practices in a meadow soil in Northeast China. *Soil and Tillage Research* 208. pp. 104879.

LIAO, Y. - CAO, H. - LIU, X. - LI, H. - HU, Q. - XUE, W. 2021. By increasing infiltration and reducing evaporation, mulching can improve the soil water environment and apple yield of orchards in semiarid areas. *Agricultural Water Management* 253. pp. 106936.

LIN, X. - NIU, J. - YU, X. - BERNDTSSON, R. - WU, S. - XIE, S. 2021. Maize residue effects on PM2.5, PM10, and dust emission from agricultural land. *Soil and Tillage Research* 205. pp. 104738.

LINDEN, D. - HENDIX, P. - COLEMAN, D. – VAN VLIET, P. 1994. Faunal indicators of soil qulity. *In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America - Special Publications* 35. pp. 91-106.

LIPIEC, J. – STĘPNIEWSKI, W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil and Tillage Research* 35(1-2). pp. 37-52.

LIU, T. - CHEN, X. - GONG, X. - LUBBERS, I. - JIANG, Y. - FENG, W. - LI, X. - WHALEN, J. - BONKOWSKI, M. - GRIFFITHS, B. - HU, F. - LIU, M. 2019. Earthworms coordinate soil biota to improve multiple ecosystem functions. *Current Biology* 29(20). pp. 3420-3429.

LIU, T. - CHENG, J. - LI, X. - SHAO, M. - JIANG, C. - HUANG, B. - ZHU, X. - HUANG, S. – HUANG, Y. 2021. Effects of earthworm (Amynthas aspergillum) activities and cast mulching on soil evaporation. *Catena* 200. pp. 105104.

LOFS-HOLMIN, A. 1983. Reproduction and growth of common arable land and pasture species of earthworms (Lumbricidae) in laboratory cultures. *Swedish Journal of Agricultural Research* 13(1). pp. 31-37.

LOMAS, J. - SCHLESINGER, E. - ZILKA, M. - ISRAELI, A. 1972. The relationship of potato leaf temperatures to air temperatures as affected by overhead irrigation, soil moisture and weather. *Journal of Applied Ecology* 9(1). pp. 107-119.

LUBBERS, I. - PULLEMAN, M. – VAN GROENIGEN, J. 2017. Can earthworms simultaneously enhance decomposition and stabilization of plant residue carbon? *Soil Biology and Biochemistry* 105. pp. 12-24.

MANONO, B. – MOLLER, H. 2015. Effects of stock type, irrigation and effluent dispersal on earthworm species composition, densities and biomasses in New Zealand. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology* 58(5-6). pp. 187-196.

MAO, W. - ZHU, Y. - WU, J. - YE, M. – YANG, J. 2022. Evaluation of effects of limited irrigation on regional - scale water movement and salt accumulation in arid agricultural areas. *Agricultural Water Management* 262. pp. 107398.

MARHAN, S. - SCHEU, S. 2005. Effects of sand and litter availability on organic matter decomposition in soil and in casts of Lumbricus terrestris L. *Geoderma* 128(1-2) pp. 155-166.

McPHEE, J. - ANTILLE, D. - TULLBERG, J. - DOYLE, R. - BOERSMA, M. 2020. Managing soil compaction - A choice of low - mass autonomous vehicles or controlled traffic? *Biosystems Engineering* 195. pp. 227-241.

MONAGHAM, J. - DACCACHE, A. - VICKERS, L. - HESS, T. - WEATHERHEAD, E. - GROVE, I. - KNOX, J. 2013. More 'crop per drop': Constraints and opportunities for precision irrigation in European agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93(5). pp. 977-980.

MORENO, M. - CASAS, C. - BIGANZOLI, F. - MANSO, L. – SILVESTRO, L. MOREIRA, E. - STENGLEIN, S. 2021. Cultivable soil fungi community reponse to agricultural management and tillage system on temperate soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 20(4). pp. 217-226.

MU, X. - ZHAO, Y. - LIU, K. - JI, B. - GUO, H. - XUE, Z. - LI, C. 2016. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage and crop residue management in a wheat

- maize cropping system on the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 78. pp. 32–43.

MULUMBA, L. – LAL, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98. pp. 106-111.

NANKO, K. - GIAMBELLUCA, T. - SUTHERLAND, R. - MUDD, R. - NULLET, M. – ZIEGLER, A. 2015. Erosion potential under miconia calvescens stands on the Island of Hawai'i. *Land Degradation and Development* 26(3). pp. 2018–2226.

NAWAZ, A. - LAL, R. - SHRESTHA, R. – FAROOQ, M. 2017. Mulching affects soil properties ad greenhouse gas emissions under long-term no-till and plough-till systems in alfisol of central Ohio. *Land Degradation and Development* 28. pp. 673-681.

NIEMINEN, M. - KETOJA, E. - MIKOLA, J. - TERHIVUO, J. - SIRÉN, T. – NUUTIEN, V. 2011. Local land use effects and regional environmental limits on earthworm communities in Finnish arable landscapes. *Ecological Applications* 21(8). pp. 3162-3177.

NING, D. - QIN, A. - DUAN, A. - XIAO, J. - ZHANG, J. - LIU, Z. - LIU, Z. - ZHAO, B. - LIU, Z. 2019. Deficit irrigation combined with reduced N - fertilizer rate can mitigate the high nitrous oxide emissions from Chinese drip - fertigated maize field. *Global Ecology and Conservation* 20. pp. 00803.

NOVÁKY, B. 2000. Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. *Vízügyi Közlemények* 82 (3-4). pp. 428-448.

NUUTINEN, V. 1992. Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil and Tillage Research* 23(3). pp. 221-239.

O'SHAUGHNESSY, S. - MINYOUNG, K. - ANDRADE, M. - COLAIZZI, P. - EVETT, S. 2020. Site - specific irrigation of grain sorghum using plant and soil water sensing feedback - Texas High Plains. *Agricultural Water Management* 240. pp. 106273.

OBOUR, P. - KOLBERG, D. - LAMANDÉ, M. - BØRRESEN, T. - EDWARDS, G. - SØRENSEN, C. - MUNKHOLM, L. 2018. Compaction and sowing date change soil physical properties and crop yield in a loamy temperate soil. *Soil and Tillage Research* 184. pp. 153-163.

PARDO, J. - MARTÍNEZ-ROMERO, A. - LÉLLIS, B. - TARJUELO, J. - DOMÍNGUEZ, A. 2020. Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in barley under semiarid conditions. *Agricultural Water Management* 228. pp. 105925.

PATAY, I. 2015. Az öntözővíz minősége, vízkezelés. *Agrárium* (8). pp. 24-27.

PAVLU, L. - KODESOVA, R. - FÉR, M. - NIKODEM, A. - NEMEC, F. – PROKES, R. 2021. The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the

Haplic Fluvisol. *Soil and Tillage Research* 205. pp. 104748.

PELOSI, C. - BERTRAND, C. - DANIELE, G. - COEURDASSIER, M. - BENOTI, P. - NÉLIEU, S. - LAFAY, F. - BRETAGNOLLE, V. - GABA, S. - VUILLET, E. - FRITSCH, C. 2021. Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A Silent Threat? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 305. pp. 107167.

PELOSI, C. - BERTRAND, M. - THÉNARD, J. - MOUGIN, C. 2015. Earthworms in a 15 years agricultural trial. *Applied Soil Ecology* 88. pp.1-8.

PEPÓ, P. 2009. A Kukorica (Zea mays L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. *Növénytermelés* 58(3). pp. 53-66.

PEREZ-BRANDÁN, C. - ARZENO, J. - HUIDOBRO, J. - GRÜMBERG, B. - CONFORTO, C. - HILTON, S. - BENDING, G. - MERILES, J. - VARGAS-GIL, S. 2012. Long - term effect of tillage systems on soil microbiological, chemical and physical parameters and the incidence of charcoal rot by Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid in soybean. *Crop Protection* 40. pp. 73-82.

PERREAULT, J. – WHALEN, J. 2006. Earthworm burrowing in laboratory microcosms as influenced by soil temperature and moisture. *Pedobiologia* 50(5). pp. 397-403.

POSTMA-BLAAUW, M. - BLOEM, J. - FABER, J. – VAN GROENIGEN, J. - DE GOEDE, R. – BRUSSAARD, L. 2006. Earthworm species composition affects the soil bacterial community and nitrogen mineralization. *Pedobiologia* 50(3). pp. 243-256.

VAN DEN PUTTE, A. - GOVERS, G. - DIELS, J. - GILLIJNS, K. - DEMUZERE, M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta - regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy* 33(3). pp. 231-241.

QU, Y. – FENG, B. 2020. Straw mulching improved yield of field buckwheat (Fagopyrum) by increasing water - temperature use and soil carbon in rain - fed farmland. *Acta Ecologica Sinica*.

RAHMA, A. - WARRINGTON, D. - LEI, T. 2019. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. *International Soil and Water Conservation Research* 7(4). pp. 335-345.

RAW, F. 1962. Studies of earthworm populations in orchards: 1. Leaf burial in apple Orchards." *Annals of Applied Biology* 50(3). pp. 389-404.

RITZEMA, H. 2016. Drain for Gain: Managing salinity in irrigated lands - A Review. *Agricultural Water Management* 176. pp. 18-28.

ROARTY, S. SCHMIDT, O. 2013. Permanent and new arable field margins support large

earthworm communities but do not increase in - field populations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 170. pp. 45-55.

ROSA-MEDINA, M. - DE LEÓN-GONZALEZ, F. - FLORES-MACÍAS, A. - PAYÁN-ZELAYA, F. - BORDERAS-TORDESILLAS, F. - GUTIÉRREZ-RODRÍGEZ, F. - FRAGOSO-GONZALES, C. 2010. Effect of tillage, sampling date and soil depth on earthworm population on maize monoculture with continuous stover restitutions. *Soil and Tillage Research* 108(1-2). pp. 37-42.

SADEGHI, S. - PETERS, T. - SHAFII, B. - AMINI, M. - STÖCKLE, C. 2017. Continuous variation of wind drift and evaporation losses under a linear move irrigation system. *Agricultural Water Management* 182. pp. 39-54.

SALEHI, A. - GHORBANZADEH, N. - KAHNEH, E. 2013. Earthworm biomass and abundance, soil chemical and physical properties under different poplar plantations in the North of Iran. *Journal of Forest Science* 59(6). pp. 223-229.

SCHJONNING, P. - VAN DEN AKKER, J. - KELLER, T. - GREVE, M. - LAMANDÉ, M. - SIMOJOKI, A. - STETTLER, M. - ARVIDSSON, J. - BREUNING-MADSEN, H. 2015. Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) analysis and risk assessment for soil compaction - A European perspective. *Advances in Agronomy* 133. pp. 183-237.

SHARMA, P. - KHARWARA, P. - TEWATIA, R. 1990. Residual soil moisture and wheat yield in relation to mulching and tillage during preceding rainfed crop. *Soil and Tillage Research* 15. pp. 279-284.

SHEKHOVTSOV, S. - DERZHINSKY, Y. - POLUBOYAROVA, T. - GOLOVANOVA, E. - PELTEK, S. 2020. Phylogeography and genetic lineages of Aporrectodea rosea (Lumbricidae, Annelida). *European Journal of Soil Biology* 99. pp. 103191.

SHIPITALO, M. – PROTZ, R. 1989. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma* 45(3-4). pp. 357-374.

SIEBERT, J. - SÜNNEMANN, M. - AUGE, H. - BERGER, S. - CESARZ, S. - CIOBANU, M. - GUERRERO-RAMIREZ, N. - EISENHAUER, N. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across Seasons. *Scientific Reports* 9. p. 639.

SINGH, R. - ROY CHOWDHURY, S. - KUNDU, D. - KANNAN, K. 2004. Effect of paddy straw mulch on hydrothermal state, nutrient availability, growth and tuber yield of sweet potato (Ipomoea batatas L.). *Advances in Horticultural Science* 18. pp. 15-20.

SIZMUR, T. - MARTIN, E. - WAGNER, K. - PARMENTIER, E. - WATTS, C. - WHITMORE, A. 2017. Milled cereal straw accelerates earthworm (Lumbricus terrestris)

growth more than selected organic amendments. *Applied Soil Ecology* 113. pp. 166-177.

SMEATON, T. - DALY, A. - CRANWELL, J. 2003. Earthworm population responses to cultivation and irrigation in a South Australian soil. *Pedobiologia* 47(4). pp. 379-385.

SMITH, D. - DICKSON, J. 1990. Contributions of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research* 46. pp. 13-29.

SOANE, B. - VAN OUWERKERK, C. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. *In: Developments in Agricultural Engineering. Elsevier* 11. pp. 1-21.

SOANE, B. VAN OUWERKERK, C. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil and Tillage Research* 35 (1-2). pp. 5-22.

SOUZA, R. - HARTZELL, S. - FERRAZ, A. - DE ALMEIDA, A. - DE SOUSA LIMA, J. - ANTONINO, A. - DE SOUZA, E. 2021. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. *Soil and Tillage Research* (205). pp. 104768.

STEFANOVITS, P. 1956. *Magyarország Talajai*. Budapest - Akadémiai Kiadó p. 161.

STEVNBAK, K. - MARALDO, K. - GEORGIEVA, S. - BJORNLUND, L. - BEIER, C. - SCHMIDT, I. - CHRISTENSEN, S. 2012. Suppression of soil decomposers and promotion of long - lived, root herbivorous nematodes by climate change. *European Journal of Soil Biology* 52. pp. 1-7.

STROUD, J. - IRONS, D. - WATTS, C. - WHITE, P. - McGRATH, P. - WHITMORE, P. 2016. Population collapse of Lumbricus terrestris in conventional arable cultivations and response to straw applications. *Applied Soil Ecology* 108. pp. 72-75.

SZALAI, GY. 1968. Vizsgálatok az esőszerű öntözés adagolási elemeinek meghatározására lejtős területeken. *Hidrológiai Közlöny* 3. pp. 97-106.

SZALAI, S. 2011. Magyarország hidroklimatológiai jellemzése. *"AGRO-21" Füzetek* 65. pp. 17-28.

TAKÁCS, P. 1987. Adalékok a Szabolcs megyei parasztok úrbérrendezéskori földműveléséhez. *Agrártörténeti Szemle /Közlemények/* 29(3-4). pp. 341-361.

TARI, I. - CSISZÁR, J. - GALLÉ, Á. - BAJKÁN, SZ. - SZEPESI, Á. - VASHEGYI, Á. 2003. Élettani megközelítések gazdasági növényeink szárazságtűrésének genetikai transzformációval történő javítására. *Botanikai Közlemények* 90(1-2). pp. 139-158.

TEASDALE, J. 1993. Interaction of light, soil moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Science* 41(1). pp. 46-51.

THORSØE, M. - NOE, E. - LAMANDÉ, M. - FRELIH-LARSEN, A. - KJELDSEN, C. - ZANDERSEN, M. - SCHJØNNING, P. 2019. Sustainable soil management - Farmers' perspectives on subsoil compaction and the opportunities and barriers for intervention.

Land Use Policy 86. pp. 427-437.

TÓTH, Á. 2011. *Öntözési praktikum:* Hasznos áttekintés és gyakorlati tanácsok. Gödöllő: Aqurex Kft. - Kiadó.

TÓTH, Z. 2002. A talajvédelem agrotechnikai eljárásai. *Agro Napló* 11. p. 10.

VALENTIN, C. – BRESSON, L. 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55(3-4). pp. 225-45.

VALENTINE, T. - HALLETT, P. - BINNIE, K. - YOUNG, M. - SQUIRE, G. - HAWES, C. - BENGOUGH, G. 2012. Soil strength and macropore volume limit root elongation rates in many UK agricultural soils. *Annals of Botany* 110(2). pp. 259-270.

VÁRADI, J. 2012. A mezőgazdasági vízgazdálkodás lehetőségei. *In: A Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Országos Vándorgyűlése. 2. szekció: Területi vízgazdálkodás.* Kaposvár.

VÁRALLYAY, GY. 1989. Soil degradation processes and their control in Hungary. *Land Degradation and rehabilitation* 1. pp. 171-188.

VÁRALLYAY, GY. 1996. Magyarország talajainak érzékenysége a szerkezetromlásra és tömörödésre. *Környezet- és tájgazdálkodási füzetek. II. 1. - Pszicholingva Kiadó* 2(1). pp. 15-30.

VARGA-HASZONITS, Z. - VARGA, Z. - LANTOS, ZS. - ENÖLZSNÉ GERENCSÉR, E. - MILICS, G. 2008. A talajok vízellátottságának hatása a gazdásági növények vízigényének alakulására. *Agrokémia és talajtan* 57(1). pp. 7-20.

VARGA, B. – VEISZ, O. 2014. Hatékony vízfelhasználás a fenntartható gabonatermesztés Kulcsa. *Iskolakultúra* 14(11-12). pp. 115-126.

VARGA, S. 1962. Talajkímélő esőszerű öntözés. *Hidrológiai Közlöny* 5. pp. 394-398.

VOORHEES, W. 1986. The effect of soil compaction on crop yield. *SAE Transacions* 95(3). pp. 1078-1084.

VOORHEES, W. - SENST, C. - NELSON, W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern corn belt. *Soil Science Society of America Journal* 42(2). pp. 344-449.

VRSIC, S. - BREZNIK, M. - PULKO, B. - RODRIGO-COMINO, J. 2021. Earthworm abundance changes depending on soil management practices in Slovenian vineyards. *Agronomy* 11. p. 6.

WALTER, J. - HEIN, R. - BEIERKUHNLEIN, C. - HAMMERL, V. - JENTSCH, A. - SCHADLER, M. - SCHUERINGS, J. - KREYLING, J. 2013. Combined effects of multifactor climate change and land - use on decomposition in temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 60. pp. 10-18.

WANG, E. - CRUSE, R. - ZHAO, Y. - CHEN, X. 2015. Quantifying soil physical condition based on soil solid, liquid and gaseous phases. *Soil and Tillage Research* 146. pp. 4-9.

WANG, Y. - LI, S. - LIANG, H. - HU, K. - QIN, S. - GUO, H. 2020. Comparison of water- and nitrogen - use efficiency over drip irrigation with border irrigation based on a model approach. *Agronomy* 10(12). pp. 10121890.

WANG, Y. - CHEN, S. - SUN, H. - ZHANG, X. 2009. Effects of different cultivation practices on soil temperature and wheat spike differentiation. *Cereal Research Communication* 37. pp. 575-584.

WARDLE, D. - BARDGETT, J. - KLIROMOMOS, H. - SETALA, H. - VAN DER PUTTEN, W. - WALL, D. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304(5677). pp. 1629-1633.

YASAR KORKANC, S. – SAHIN, H. 2021. The effects of mulching with organic materials on the soil nutrient and carbon transport by runoff under simulated rainfall conditions. *Journal of African Earth Sciences* 176. pp. 104152.

ZHANG, H. - TANG, J. - LIANG, S. 2017. Effects of snow cover plus straw mulching on microorganisms in paddy soil during winter. *Applied Soil Ecology* 119. pp.339-444.

ZHANG, J. - HU, F. - LI, H. - GAO, Q. - SONG, X. - KE, X. - WANG, L. 2011. Effects of earthworm activity on humus composition and humic acid characteristics of soil in a maize residue amended rice - wheat rotation agroecosystem. *Applied Soil Ecology* 51. pp. 1-8.

ZHANG, T. - ZOU, Y. - KISEKKA, I. - BISWAS, A. - CAI, H. 2021. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management* 243. pp. 106497.

ZHONG, Y. - LI, J. - XIONG, H. 2021. Effect of deficit irrigation on soil CO and NO emission and winter wheat yield. *Journal of Cleaner Production* 279. pp. 123718.

ZRIBI, W. - ARAGÜÉS, R. - MEDINA, E. - FACI, J. 2015. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil and Tillage Research* 148. pp. 40-45.

Internetes források:

http: EARTHWORM SOCIETY OF BRITAN https://www.earthwormsoc.org.uk/earthworm-ecology - letöltve: 2021. január 10.

http: FAO.ORG http://www.fao.org/3/I9253EN/i9253en.pdf - letöltve: 2020. október 29.

https: ISO.org https://www.iso.org/standard/36914.html ISO – International Standard ISO23611-1, Soil quality – Sampling of Soil Invertebrates – Part 1: Hand-sorting and formalin

Extraction of Earthworms. Reference number: ISO 23611-1:2006. 1st Edition. - letöltve: 2020 október 8.

http: KSH.HU http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html - letöltve 2020. november 04.

http: MET.HU https://met.hu/eghajlat - letöltve: 2020. október 16. (OMSZ)

http: METEOBLUE.COM https:// https://www.meteoblue.com/hu/időjárás/historyclimate/ - letöltve 2022. március 22.

http: WORD BANK, 2020 Water in Agriculture - https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture - letöltve 2020. október 25.

M2. Táblázatok és ábrák jegyzéke

M2.1. Táblázatok

1. táblázat: A talajhasználat és a talajművelés fejlődése Magyarországon. (Forrás: Birkás, M. 2001 - A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése.) 18
2. táblázat: Talajállapot-hiba jelenléte, a felszíni vízpangás és az aszálykár összefüggései (Forrás: Birkás és Jolánkai 2008: A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggése) 28
3. táblázat: Alkalmazott agrotechnikai műveletek, termésátlagok, felhasznált input anyagok 42
4. táblázat: Öntözési kezelések a vizsgált időszakban 43
5. táblázat: 2016. tenyészidőszak vízinput (Forrás: Irriga System - Field report) 56
6. táblázat: A talaj nedvességtartalma 0-15 cm rétegben (m/m%). 59
7. táblázat: A talaj átlagos nedvességtartalma (m/m%) és szórási értékei 0-15 cm rétegben .. 60
8. táblázat: Vízvizsgálati eredmények 61
9. táblázat: Nem öntözött (NÖ) szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016 63
10. táblázat: A lineárral öntözött szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016 64
11. táblázat: A dobbal öntözött szelvény talajvizsgálati eredményei - 2016 64
12. táblázat: Kationok megoszlása 65
13. táblázat: A kísérleti parcellák talajkémiai jellemzői 66
14. táblázat: A 2015. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 68
15. táblázat: A 2015. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 69
16. táblázat: A 2016. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 71
17. táblázat: A 2016. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 73
18. táblázat: A 2016. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 74
19. táblázat: A 2017. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 76
20. táblázat: A 2017. nyári, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 77
21. táblázat: A 2017. őszi, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 78
22. táblázat: A 2017. őszi, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 79
23. táblázat: A 2018. nyári, a nem taposott, a nem mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 81
24. táblázat: A 2018. nyári, a nem taposott, a mulcsozott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei 82
25. táblázat: Talajpenetrációs értékek taposási kezelések és évszakok szerint 84
26. táblázat: A földigiliszta fajok aránya (%) mulcsozott, nem mulcsozott bontásban (2015-2018) 87
27. táblázat: Öntözési kezelések földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei 88
28. táblázat: Mulcsozási kezelések földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei . 89
29. táblázat: A talajtaposási hatás földigiliszta egyedszám, biomassza(*) és szórás értékei ... 91

M2.2. Ábrák

1. ábra: Az öntözött területek megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint (2019). 9
2. ábra: A kiöntözött vízmennyiség megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint (2019). .. 9
3. ábra: Talajvédő mulcsművelés nehézkultivátorral 16
4. ábra: A talaj szerves szén dinamikáját befolyásoló folyamatok 22
5. ábra: Allolobophora chlorotica..... 32
6. ábra: Lumbricus terrestris..... 32
7. ábra: Lumbricus castaneus 32
8. ábra: A kísérleti terület elhelyezkedése és az öntözési kezelések felosztása 40
9. ábra: Rainbow 100/500 csévélődobos öntözőberendezés 44
10. ábra: RKD – SLG596 átforduló lineár öntözőberendezés 44
11. ábra: A vízpótló öntözések havi megoszlása..... 45
12. ábra: Talajtakarás tenyészidőszakon kívül – 2018.06.10. 47
13. ábra: Talajtakarás tenyészidőszakban - 2015.10.10. 47
14. ábra: GPS helyadatok rögzítése..... 51
15. ábra: In situ kézi mintavétel 51
16. ábra: A vizsgálati időszak havi átlaghőmérsékletei és a sokéves átlag léghőmérséklet 53
17. ábra: A 2015-2018 időszak havi csapadékeloszlása és a sokéves átlag alakulása (mm) ... 55
18. ábra: Vízinput (mm) - 2016 június 1-30..... 56
19. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 0-10 cm rétegben, 2016 június 1-30. ... 57
20. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 10-30 cm rétegben, 2016 június 1-30. . 57
21. ábra: Vízinput (mm) - 2016 július 1-31. 58
22. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 0-10 cm rétegben, 2016 július 1-31. 58
23. ábra: A talaj nedvességpotenciál (kPa) változása 10-30 cm rétegben, 2016 július 1-31. .. 58
24. ábra: Nedvességtartalom (m/m %) alakulása a tömör T és NT kezelésenként 60
25. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2015 ősz. . 67
26. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2016 nyár. 70
27. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2016 ősz. . 72
28. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2017 nyár. 75
29. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2017 ősz. . 77
30. ábra: Átlagos talajellenállás (MPa) eltérő öntözési és takarási kezelésekben - 2018 nyár. 80
31. ábra: A kifejlett és fiatal földigiliszták aránya (2015 - 2018) 88
32. ábra: Földigiliszta egyedszám öntözési kezelésenként 89
33. ábra: Földigiliszta biomassza öntözési kezelésenként 89
34. ábra: Földigiliszta egyedszám mulcsozási kezelésenként 90
35. ábra: Földigiliszta biomassza mulcsozási kezelésenként 90
36. ábra: Földigiliszta egyedszám talajtaposási kezelésenként 91
37. ábra: Földigiliszta biomassza talajtaposási kezelésenként 91

M.3. Kiegészítő táblázatok

M3.1. táblázat: Talajvizsgálati módszerek, eszközök, mérési bizonytalanság

Vizsgált paraméter	Vizsgálati/mérési módszer	A vizsgálat típusa	Becsült bizonytalanság
pH érték	MSZ-08-0206-2: 1978 2.1. szakasz	Potenciometria	+/- 0,2 pH egység
Arany-féle kötöttségi szám	MSZ-08-0205:1978 5.1. szakasz	Plaszticitás vizsgálat	+/- 3 K_A egység
Összes só	MSZ-08-0206-2: 1978 2.4. szakasz	Konduktometria	+/- 7,5 % R
Szénsavas mész	MSZ-08-0206-2: 1978 2.2. szakasz	Gázvolumetria	+/- 7,5 % R
Humusz	MSZ-08-0210: 1978 2.2. szakasz	Oxidi-reduktometria	+/- 7,5 % R
Fenolftalein lúgosság	MSZ-08-0206-2: 1978 2.3. szakasz	Acidi-alkalimetria	+/- 10 % R
(NO_3+NO_2)-N[KCl]	MSZ-20135: 1999 5.4.5. szakasz	Spektofotometria	<5 mg/kg +/- 20% >5 mg/kg +/- 10%
Foszfor-pentoxid [Al]	MSZ-20135: 1999 5.4.2. szakasz	Spektofotometria	+/- 7,5 %
Kálium-oxid [Al]	MSZ-20135: 1999 5.3.1. szakasz	AES-láng	+/- 10 %
Magnézium [KCl]	MSZ-20135: 1999 5.2.1. szakasz	AAS-láng	+/- 5 %
Nátrium [Al]	MSZ-20135: 1999 5.3.1. szakasz	AES-láng	+/- 10 %
Cink, réz, mangán, vas [EDTA]	MSZ-20135: 1999 5.2.1. szakasz	AAS-láng	+/- 15 %
Szulfát-kén [KCl]	MSZ-20135: 1999 5.4.1.2. szakasz	Spektrofotometria	+/- 10 % R
Leiszapolható rész	MSZ-08-0205:1978 3. fejezet	Szedimentáció, tömegmérés	+/- 10 % R
Immunitás	MSZ-08-0010:1978 3. fejezet	Szedimentáció, tömegmérés	+/- 10 % R
Fiziológiai mész	MSZ-08-0205: 1978 4. fejezet	Gázvolumetria	+/- 10 % R
Higroszkóposság	MSZ-08-0205: 1978 4. fejezet	Tömegmérés	

M3.2. táblázat: Talajvíz és öntözővíz vizsgálati módszerek, eszközök, mérési bizonytalanság

Vizsgált paraméter	Módszer	Készülék	Bizonytalanság
pH	MSZ 1484-22:2009	Digitális pH mérő, Radelkis OP-300, Sentron	+/- 0,05
Vezetőképesség	MSZ En 27888:1998 4. fejezet, 5. fejezet, 7. fejezet	Konduktométer WTW LF538	5 rel. %
Összes só (x)	Vezetőképesség alapján számolva	Konduktométer WTW LF538	5 rel. %
Lúgosság p/m	MSZ 448-11:1986	Automata büretta, Radelkis OP-930	5 rel. %
Ca	MSZ 1484-3:2006 5.fejezet	Thermo Elementar IRIS Advantage	5-7,5 rel. %
Mg	MSZ 1484-3:2006 5.fejezet	Thermo Elementar IRIS Advantage	5-7,5 rel. %
Na	MSZ 1484-3:2006 5.fejezet	Thermo Elementar IRIS Advantage	5-7,5 rel. %
K	MSZ 1484-3:2006 5.fejezet	Thermo Elementar IRIS Advantage	5-7,5 rel. %
NH_4^+	MSZ EN ISO 11732:2005 1.fejezet	FIAstar, TECATOR	5-7,5 rel. %
CO_3^{2-}	MSZ-448-11:1986	Automata büretta, Radelkis OP-930	5 rel. %
HCO_3^-	MSZ-448-11:1986	Automata büretta, Radelkis OP-930	5 rel. %
Cl^-	MSZ 1484-15:2009	Automata büretta, Radelkis OP-930	5-7,5 rel. %
SO_4^{2-}	MSZ EN ISO 10304-1:1998	SYKAM Ionkromográf	5 rel. %
NO_3^-	MSZ EN ISO 13395:1999	FIAstar, TECATOR	5-7,5 rel. %
NO_2^-	MSZ EN ISO 13395:1999	FIAstar, TECATOR	5-7,5 rel. %
PO_4^{3-}	MSZ EN ISO 10304-1:2009	SYKAM Ionkromográf	5 rel. %

x Nem akkreditált vizsgálat

M3.3.1. táblázat: A 2015. év havi átlaghőmérsékletei és eltérések a sokévi átlagtól

Dátum	Havi átlaghőmérséklet (°C)	Sokévi átlag (°C)	Eltérés (°C)
2015-01	2,40	-1,10	3,50
2015-02	2,40	0,50	1,90
2015-03	7,20	5,50	1,70
2015-04	11,30	11,40	-0,10
2015-05	17,00	16,80	0,20
2015-06	20,70	19,8	0,90
2015-07	24,10	21,90	2,20
2015-08	23,80	21,30	2,50
2015-09	18,40	16,40	2,00
2015-10	10,30	11,00	-0,70
2015-11	6,50	4,90	1,60
2015-12	2,80	0,30	2,50

M3.3.2. táblázat: A 2016. év havi átlaghőmérsékletei és eltérések a sokévi átlagtól

Dátum	Havi átlaghőmérséklet (°C)	Sokévi átlag (°C)	Eltérés (°C)
2016-01	-0,60	-1,10	0,50
2016-02	6,20	0,50	5,70
2016-03	7,30	5,50	1,80
2016-04	13,20	11,40	1,80
2016-05	16,40	16,80	-0,40
2016-06	21,20	19,80	1,40
2016-07	22,50	21,90	0,60
2016-08	21,00	21,30	-0,30
2016-09	18,10	16,40	1,70
2016-10	9,80	11,00	-1,20
2016-11	5,30	4,90	0,40
2016-12	-0,90	0,30	-1,20

M3.3.3. táblázat: A 2017. év havi átlaghőmérsékletei és eltérések a sokévi átlagtól

Dátum	Havi átlaghőmérséklet (°C)	Sokévi átlag (°C)	Eltérés (°C)
2017-01	-6,40	-1,10	-5,30
2017-02	2,90	0,50	2,40
2017-03	9,40	5,50	3,90
2017-04	11,00	11,40	-0,40
2017-05	17,00	16,80	0,20
2017-06	22,10	19,80	2,30
2017-07	22,70	21,90	0,80
2017-08	23,40	21,30	2,10
2017-09	16,40	16,40	0,00
2017-10	11,50	11,00	0,50
2017-11	6,00	4,90	1,10
2017-12	2,70	0,30	2,40

M3.3.4. táblázat: A 2018. év havi átlaghőmérsékletei és eltérések a sokévi átlagtól

Dátum	Havi átlaghőmérséklet (°C)	Sokévi átlag (°C)	Eltérés (°C)
2018-01	3,10	-1,10	4,20
2018-02	0,60	0,50	0,10
2018-03	3,90	5,50	-1,60
2018-04	16,50	11,40	5,10
2018-05	20,00	16,80	3,20
2018-06	21,20	19,80	1,40
2018-07	22,60	21,90	0,70
2018-08	24,00	21,30	2,70
2018-09	18,00	16,40	1,60
2018-10	13,5	11,0	2,5
2018-11	7,4	4,9	2,5
2018-12	1,10	0,3	0,8

M3.3.5. táblázat: A 2015. év havi csapadékösszegei és eltérései a sokévi átlagtól

Dátum	Csapadék (mm)	Sokévi átlag (mm)	Eltérés a sokévi átlagtól (mm)
2015-01	61,60	32,20	29,40
2015-02	15,00	31,70	-16,70
2015-03	21,10	30,30	-9,20
2015-04	5,90	44,90	-39,00
2015-05	56,10	54,20	1,90
2015-06	21,20	55,50	-34,30
2015-07	37,60	53,20	-15,60
2015-08	45,70	53,90	-8,20
2015-09	53,30	48,40	4,90
2015-10	99,80	31,60	68,20
2015-11	33,60	41,30	-7,70
2015-12	2,90	43,50	-40,60
Összesen:	453,80	520,70	-33,30

M3.3.6. táblázat: A 2016. év havi csapadékösszegei és eltérései a sokévi átlagtól

Dátum	Csapadék (mm)	Sokévi átlag (mm)	Eltérés a sokévi átlagtól (mm)
2016-01	50,50	32,20	18,30
2016-02	87,30	31,70	55,60
2016-03	19,10	30,30	-11,20
2016-04	15,80	44,90	-29,10
2016-05	39,40	54,20	-14,80
2016-06	99,70	55,50	44,20
2016-07	98,60	53,20	45,40
2016-08	39,40	53,90	-14,50
2016-09	17,00	48,40	-31,40
2016-10	71,70	31,60	40,10
2016-11	43,80	41,30	2,50
2016-12	1,10	43,50	-42,40
Összesen:	583,40	520,70	62,70

M3.3.7. táblázat: A 2017. év havi csapadékösszegei és eltérései a sokévi átlagtól

Dátum	Csapadék (mm)	Sokévi átlag (mm)	Eltérés a sokévi átlagtól (mm)
2017-01	27,30	32,20	-4,90
2017-02	34,10	31,70	2,40
2017-03	20,40	30,30	-9,90
2017-04	52,10	44,90	7,20
2017-05	52,50	54,20	-1,70
2017-06	74,20	55,50	18,70
2017-07	34,50	53,20	-18,70
2017-08	29,00	53,90	-24,90
2017-09	15,10	48,40	-33,30
2017-10	47,40	31,60	15,80
2017-11	37,30	41,30	-4,00
2017-12	86,40	43,50	42,90
Összesen:	510,30	520,70	-10,40

M3.3.8. táblázat: A 2018. év havi csapadékösszegei és eltérései a sokévi átlagtól

Dátum	Csapadék (mm)	Sokévi átlag (mm)	Eltérés a sokévi átlagtól (mm)
2018-01	25,20	32,20	-7,00
2018-02	66,20	31,70	34,50
2018-03	87,00	30,30	56,70
2018-04	10,80	44,90	-34,10
2018-05	11,50	54,20	-42,70
2018-06	66,40	55,50	10,90
2018-07	94,9	53,9	-15,9
2018-08	38,00	53,90	-15,90
2018-09	22,70	48,40	-25,70
2018-10	14,30	31,60	-17,30
2018-11	39,00	41,30	-2,30
2018-12	30,40	43,50	-13,10
Összesen:	506,40	520,70	-14,30

M3.4. táblázat: A 2015. őszi talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,200[a]	128.348	0.589	2.945	5.090	0.005
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.836	128.348	0.294	2.945	5.090	0.003
F	69.015	10590.820	24.285	243.033	419.971	0.209

Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.812
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.060	0.186	0.325	0.436	137.984	9.636
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.030	0.186	0.163	0.012		
F	2.484	15.369	13.418			
Sig.	0.098	**0.000**	**0.000**			
	-15.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	6,704[b]	185.693	0.023	2.172	4.066	0.136
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.609	185.693	0.011	2.172	4.066	0.068
F	75.388	22970.316	1.411	268.647	502.949	8.392
Sig.	0.000	0.000	0.257	**0.000**	**0.000**	**0.001**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.018	0.081	0.209	0.291	192.688	6.995
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.009	0.081	0.104	0.008		
F	1.117	10.001	12.915			
Sig.	0.338	**0.003**	**0.000**			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,548[c]	294.525	0.515	4.788	4.025	0.053
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.868	294.525	0.257	4.788	4.025	0.026
F	79.459	26962.257	23.565	438.320	368.487	2.420
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.103
	-22.5 cm					

Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.147	0.002	0.019	0.393	304.466	9.941
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.073	0.002	0.009	0.011		
F	6.712	0.150	0.848			
Sig.	**0.003**	0.701	0.437			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	7,635[d]	400.323	0.649	2.891	3.887	0.002
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.694	400.323	0.324	2.891	3.887	0.001
F	59.483	34305.233	27.790	247.742	333.127	0.100
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.905
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.022	0.106	0.077	0.420	408.379	8.056
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.011	0.106	0.039	0.012		
F	0.961	9.119	3.313			
Sig.	0.392	**0.005**	0.048			
	-37.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	7,676[e]	512.932	1.184	3.376	2.995	0.006
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.698	512.932	0.592	3.376	2.995	0.003
F	48.989	36011.040	41.573	237.023	210.268	0.201
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.819
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.050	0.035	0.030	0.513	521.121	8.188

df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.025	0.035	0.015	0.014		
F	1.749	2.434	1.055			
Sig.	0.188	0.127	0.359			

M3.5. táblázat: A 2016. nyári talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,848[f]	35.175	2.619	1.516	4.386	0.862
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.895	35.175	1.310	1.516	4.386	0.431
F	80.829	3175.851	118.250	136.863	396.025	38.894
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.262	0.131	0.071	0.399	45.421	10.246
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.131	0.131	0.036	0.011		
F	11.825	11.850	3.222			
Sig.	**0.000**	**0.001**	0.052			
	-15.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,061[g]	65.660	2.785	0.576	4.392	0.923
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.824	65.660	1.393	0.576	4.392	0.461
F	80.784	6439.048	136.572	56.526	430.735	45.249
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.203	0.012	0.170	0.367	75.089	9.429
df	2	1	2	36	48	47

Mean Square	0.101	0.012	0.085	0.010		
F	9.935	1.180	8.336			
Sig.	**0.000**	0.285	0.001			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	11,290[h]	94.956	3.866	1.059	3.915	2.307
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.026	94.956	1.933	1.059	3.915	1.154
F	75.687	7002.082	142.534	78.055	288.678	85.071
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-22.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.137	0.001	0.006	0.488	106.734	11.779
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.068	0.001	0.003	0.014		
F	5.036	0.080	0.230			
Sig.	**0.012**	0.779	0.796			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	13,162[i]	148.228	4.412	1.047	3.334	3.934
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.197	148.228	2.206	1.047	3.334	1.967
F	68.284	8459.068	125.884	59.765	190.254	112.255
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.133	0.162	0.140	0.631	162.020	13.793
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.067	0.162	0.070	0.018		
F	3.797	9.255	3.990			
Sig.	**0.032**	0.004	0.027			
	-37.5 cm					

Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	12,529[j]	227.505	3.961	3.532	1.172	3.684
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.139	227.505	1.980	3.532	1.172	1.842
F	82.062	16391.849	142.692	254.459	84.434	132.712
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.040	0.099	0.041	0.500	240.533	13.028
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.020	0.099	0.021	0.014		
F	1.438	7.134	1.489			
Sig.	0.251	0.011	0.239			

M3.6. táblázat: A 2016. őszi talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	8,162[k]	132.136	0.402	2.359	4.788	0.060
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.742	132.136	0.201	2.359	4.788	0.030
F	61.770	10999.878	16.739	196.340	398.588	2.484
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.098
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.110	0.213	0.231	0.432	140.731	8.595
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.055	0.213	0.115	0.012		
F	4.571	17.759	9.596			
Sig.	**0.017**	**0.000**	**0.000**			
	-15.0 cm					

Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	6,731[l]	195.980	0.210	1.617	4.207	0.168
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.612	195.980	0.105	1.617	4.207	0.084
F	51.862	16609.488	8.900	137.042	356.525	7.128
Sig.	0.000	0.000	**0.001**	**0.000**	**0.000**	**0.002**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.066	0.312	0.151	0.425	203.137	7.156
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.033	0.312	0.076	0.012		
F	2.797	26.444	6.411			
Sig.	0.074	**0.000**	**0.004**			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	10,022[m]	325.573	1.257	3.188	5.407	0.010
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.911	325.573	0.629	3.188	5.407	0.005
F	71.816	25662.324	49.558	251.273	426.184	0.396
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.676
	-22.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.099	0.009	0.052	0.457	336.052	10.479
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.049	0.009	0.026	0.013		
F	3.893	0.737	2.043			
Sig.	**0.029**	0.396	0.144			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,910[n]	431.940	1.396	2.799	5.274	0.059
df	11	1	2	1	1	2

Mean Square	0.901	431.940	0.698	2.799	5.274	0.030
F	43.842	21019.689	33.975	136.185	256.627	1.438
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.251
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.331	0.040	0.012	0.740	442.590	10.650
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.165	0.040	0.006	0.021		
F	8.047	1.959	0.285			
Sig.	**0.001**	0.170	0.754			
	-37.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	8,605[o]	536.672	2.596	2.585	2.852	0.158
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.782	536.672	1.298	2.585	2.852	0.079
F	59.268	40661.239	98.340	195.885	216.074	5.978
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.006**
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.344	8.333E-06	0.069	0.475	545.752	9.080
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.172	8.333E-06	0.035	0.013		
F	13.050	0.001	2.624			
Sig.	**0.000**	0.980	0.086			

M3.7. táblázat: A 2017. nyári talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	10,003[p]	37.754	3.484	1.474	3.825	0.678
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.909	37.754	1.742	1.474	3.825	0.339

F	113.521	4713.147	217.470	183.948	477.510	42.296
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.378	0.144	0.020	0.288	48.046	10.291
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.189	0.144	0.010	0.008		
F	23.614	17.989	1.262			
Sig.	**0.000**	**0.000**	0.295			
	-15.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	8,475[q]	72.865	3.406	0.241	3.435	0.939
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.770	72.865	1.703	0.241	3.435	0.470
F	95.532	9034.457	211.165	29.861	425.863	58.241
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.343	0.018	0.092	0.290	81.631	8.766
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.172	0.018	0.046	0.008		
F	21.286	2.282	5.732			
Sig.	**0.000**	0.140	**0.007**			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,128[r]	107.850	3.016	0.073	3.240	2.517
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.830	107.850	1.508	0.073	3.240	1.258
F	89.909	11684.905	163.364	7.893	350.991	136.348
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.008**	**0.000**	**0.000**
	-22.5 cm					

Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.256	0.010	0.017	0.332	117.311	9.461
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.128	0.010	0.009	0.009		
F	13.870	1.075	0.941			
Sig.	**0.000**	0.307	0.400			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	13,344[s]	162.141	4.617	0.975	3.266	4.197
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.213	162.141	2.308	0.975	3.266	2.098
F	73.180	9781.443	139.259	58.801	197.005	126.583
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.241	0.008	0.041	0.597	176.081	13.940
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.121	0.008	0.020	0.017		
F	7.270	0.483	1.234			
Sig.	**0.002**	0.491	0.303			
	-37.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	16,194[t]	240.442	5.466	4.230	1.752	4.411
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.472	240.442	2.733	4.230	1.752	2.206
F	99.685	16280.441	185.039	286.447	118.619	149.337
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.123	0.004	0.209	0.532	257.168	16.726

df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.062	0.004	0.104	0.015		
F	4.173	0.237	7.066			
Sig.	**0.023**	0.629	**0.003**			

M3.8. táblázat: A 2017. őszi talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	8,148[u]	141.556	0.510	3.045	4.031	0.025
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.741	141.556	0.255	3.045	4.031	0.012
F	75.631	14453.744	26.045	310.930	411.589	1.268
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.294
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.223	0.088	0.226	0.353	150.057	8.500
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.111	0.088	0.113	0.010		
F	11.368	8.940	11.557			
Sig.	**0.000**	**0.005**	**0.000**			
	-15.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	7,129[v]	203.940	0.238	1.740	3.899	0.187
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.648	203.940	0.119	1.740	3.899	0.094
F	50.089	15761.792	9.179	134.510	301.324	7.241
Sig.	0.000	0.000	**0.001**	**0.000**	**0.000**	**0.002**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.149	0.083	0.832	0.466	211.535	7.595
df	2	1	2	36	48	47

Mean Square	0.075	0.083	0.416	0.013		
F	5.771	6.441	32.164			
Sig.	**0.007**	**0.016**	**0.000**			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	12,307[w]	347.710	1.928	3.803	5.420	0.102
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.119	347.710	0.964	3.803	5.420	0.051
F	75.585	23490.579	65.132	256.890	366.188	3.430
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.043**
	-22.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.318	0.165	0.572	0.533	360.549	12.840
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.159	0.165	0.286	0.015		
F	10.744	11.113	19.313			
Sig.	**0.000**	**0.002**	**0.000**			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,977[x]	451.229	1.250	3.636	4.054	0.073
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.907	451.229	0.625	3.636	4.054	0.036
F	48.085	23921.153	33.124	192.730	214.927	1.927
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.160
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.329	0.359	0.277	0.679	461.886	10.657
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.165	0.359	0.139	0.019		
F	8.730	19.021	7.349			
Sig.	**0.001**	**0.000**	**0.002**			
	-37.5 cm					

Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,213[y]	553.453	3.305	2.646	2.408	0.376
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.838	553.453	1.652	2.646	2.408	0.188
F	62.107	41040.847	122.534	196.220	178.530	13.943
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.335	0.067	0.077	0.485	563.151	9.698
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.167	0.067	0.038	0.013		
F	12.410	4.950	2.850			
Sig.	**0.000**	**0.032**	0.071			

M3.9. táblázat: A 2018. nyári talajellenállás eredményeket alátámasztó faktoriális ANOVA statisztikai elemzések

	-7.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,677[z]	36.279	2.464	1.200	4.820	0.556
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.880	36.279	1.232	1.200	4.820	0.278
F	96.301	3971.249	134.871	131.375	527.581	30.442
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-7.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.532	0.038	0.067	0.329	46.285	10.006
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.266	0.038	0.033	0.009		
F	29.137	4.156	3.648			
Sig.	**0.000**	**0.049**	**0.036**			
	-15.0 cm					

Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,311[aa]	68.187	2.340	0.637	4.883	0.847
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.846	68.187	1.170	0.637	4.883	0.424
F	85.193	6863.041	117.776	64.124	491.499	42.647
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-15.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.424	0.000	0.179	0.358	77.856	9.668
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.212	0.000	0.089	0.010		
F	21.329	0.010	8.990			
Sig.	**0.000**	0.920	**0.001**			
	-22.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	9,458[ab]	101.588	1.867	0.383	4.066	2.729
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	0.860	101.588	0.934	0.383	4.066	1.365
F	69.852	8253.138	75.841	31.149	330.315	110.855
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-22.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.274	0.023	0.116	0.443	111.489	9.901
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.137	0.023	0.058	0.012		
F	11.128	1.866	4.695			
Sig.	**0.000**	0.180	**0.015**			
	-30.0 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	16,833[ac]	166.433	5.242	2.202	3.392	4.767
df	11	1	2	1	1	2

Mean Square	1.530	166.433	2.621	2.202	3.392	2.383
F	82.315	8952.691	140.999	118.429	182.463	128.204
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-30.0 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.867	0.082	0.281	0.669	183.935	17.502
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.434	0.082	0.141	0.019		
F	23.330	4.393	7.559			
Sig.	**0.000**	**0.043**	**0.002**			
	-37.5 cm					
Source	Corrected Model	Intercept	Öntözési mód	Takarás	Taposás	Öntözési mód × Takarás
Type III Sum of Squares	17,723[ad]	251.305	5.681	5.103	3.281	3.212
df	11	1	2	1	1	2
Mean Square	1.611	251.305	2.841	5.103	3.281	1.606
F	62.829	9799.845	110.770	198.978	127.957	62.627
Sig.	0.000	0.000	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**
	-37.5 cm					
Source	Öntözési mód × Taposás	Takarás × Taposás	Öntözési mód × Takarás × Taposás	Error	Total	Corrected Total
Type III Sum of Squares	0.095	0.184	0.167	0.923	269.951	18.646
df	2	1	2	36	48	47
Mean Square	0.048	0.184	0.083	0.026		
F	1.853	7.166	3.255			
Sig.	0.171	**0.011**	0.050			

M3.10. táblázat: A 2015. őszi, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	p - érték
2015, ősz	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.143	2	0.072	6.041	**0.022**
			Csoportokon belül	0.107	9	0.012		
			Összesen	0.250	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.379	2	0.189	19.389	**0.001**
			Csoportokon belül	0.088	9	0.010		
			Összesen	0.466	11			
	-15.0 cm		Csoportok között	0.132	2	0.066	8.282	**0.009**
			Csoportokon belül	0.071	9	0.008		

		Nem mulcsozott (NM)	Összesen	0.203	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.013	2	0.007	0.934	0.428
			Csoportokon belül	0.064	9	0.007		
			Összesen	0.077	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.088	2	0.044	2.586	0.130
			Csoportokon belül	0.152	9	0.017		
			Összesen	0.240	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.012	2	0.006	0.659	0.541
			Csoportokon belül	0.082	9	0.009		
			Összesen	0.094	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.075	2	0.038	3.392	0.080
			Csoportokon belül	0.100	9	0.011		
			Összesen	0.175	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.245	2	0.122	9.607	**0.006**
			Csoportokon belül	0.115	9	0.013		
			Összesen	0.359	11			
	-37.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.222	2	0.111	3.932	0.059
			Csoportokon belül	0.254	9	0.028		
			Összesen	0.477	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.196	2	0.098	10.517	**0.004**
			Csoportokon belül	0.084	9	0.009		
			Összesen	0.280	11			

M3.11. táblázat: A 2016. nyári, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	p - érték
2016, nyár	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.959	2	0.480	43.858	**0.000**
			Csoportokon belül	0.098	9	0.011		
			Összesen	1.058	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.020	2	0.010	1.011	0.402
			Csoportokon belül	0.087	9	0.010		
			Összesen	0.106	11			
	-15.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	1.412	2	0.706	63.418	**0.000**
			Csoportokon belül	0.100	9	0.011		
			Összesen	1.513	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.018	2	0.009	0.773	0.490
			Csoportokon belül	0.102	9	0.011		
			Összesen	0.119	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	2.396	2	1.198	91.838	**0.000**
			Csoportokon belül	0.117	9	0.013		
			Összesen	2.514	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.005	2	0.003	0.218	0.809
			Csoportokon belül	0.105	9	0.012		
			Összesen	0.111	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	3.007	2	1.503	102.150	**0.000**
			Csoportokon belül	0.132	9	0.015		
			Összesen	3.139	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.013	2	0.006	0.325	0.731
			Csoportokon belül	0.176	9	0.020		

			Összesen	0.189	11			
	-37.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	3.999	2	1.999	102.037	**0.000**
			Csoportokon belül	0.176	9	0.020		
			Összesen	4.175	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.001	2	0.000	0.049	0.952
			Csoportokon belül	0.059	9	0.007		
			Összesen	0.060	11			

M3.12. táblázat: A 2016. őszi, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	p - érték
2016, ősz	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.107	2	0.054	4.249	0.050
			Csoportokon belül	0.114	9	0.013		
			Összesen	0.221	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.275	2	0.137	14.803	**0.001**
			Csoportokon belül	0.083	9	0.009		
			Összesen	0.358	11			
	-15.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.270	2	0.135	13.587	**0.002**
			Csoportokon belül	0.089	9	0.010		
			Összesen	0.360	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.025	2	0.012	1.058	0.387
			Csoportokon belül	0.105	9	0.012		
			Összesen	0.129	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.187	2	0.093	7.083	**0.014**
			Csoportokon belül	0.119	9	0.013		
			Összesen	0.305	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.383	2	0.191	10.618	**0.004**
			Csoportokon belül	0.162	9	0.018		
			Összesen	0.545	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.202	2	0.101	12.718	**0.002**
			Csoportokon belül	0.071	9	0.008		
			Összesen	0.273	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.337	2	0.169	9.858	**0.005**
			Csoportokon belül	0.154	9	0.017		
			Összesen	0.491	11			
	-37.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.081	2	0.041	3.843	0.062
			Csoportokon belül	0.095	9	0.011		
			Összesen	0.177	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.656	2	0.328	32.188	**0.000**
			Csoportokon belül	0.092	9	0.010		
			Összesen	0.748	11			

M3.13. táblázat: A 2017. nyári, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	p - érték
2017, nyár	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.909	2	0.455	63.789	**0.000**
			Csoportokon belül	0.064	9	0.007		
			Összesen	0.974	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.110	2	0.055	9.614	**0.006**
			Csoportokon belül	0.051	9	0.006		
			Összesen	0.161	11			
			Csoportok között	1.393	2	0.696	93.284	**0.000**

	-15.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportokon belül	0.067	9	0.007		
			Összesen	1.460	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.041	2	0.020	2.165	0.171
			Csoportokon belül	0.085	9	0.009		
			Összesen	0.126	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	2.150	2	1.075	95.243	**0.000**
			Csoportokon belül	0.102	9	0.011		
			Összesen	2.251	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.041	2	0.021	2.821	0.112
			Csoportokon belül	0.066	9	0.007		
			Összesen	0.107	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	3.455	2	1.728	69.459	**0.000**
			Csoportokon belül	0.224	9	0.025		
			Összesen	3.679	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.028	2	0.014	1.921	0.202
			Csoportokon belül	0.065	9	0.007		
			Összesen	0.093	11			
	-37.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	5.138	2	2.569	126.913	**0.000**
			Csoportokon belül	0.182	9	0.020		
			Összesen	5.320	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.054	2	0.027	2.767	0.116
			Csoportokon belül	0.087	9	0.010		
			Összesen	0.141	11			

M3.14. táblázat: A 2017. őszi, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2017, ősz	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.339	2	0.170	25.631	**0.000**
			Csoportokon belül	0.060	9	0.007		
			Összesen	0.399	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.135	2	0.067	7.562	**0.012**
			Csoportokon belül	0.080	9	0.009		
			Összesen	0.215	11			
	-15.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.241	2	0.120	7.790	**0.011**
			Csoportokon belül	0.139	9	0.015		
			Összesen	0.380	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.035	2	0.018	1.544	0.265
			Csoportokon belül	0.102	9	0.011		
			Összesen	0.138	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.109	2	0.055	3.753	0.065
			Csoportokon belül	0.131	9	0.015		
			Összesen	0.240	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.536	2	0.268	21.075	**0.000**
			Csoportokon belül	0.114	9	0.013		
			Összesen	0.650	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.065	2	0.032	2.153	0.172
			Csoportokon belül	0.135	9	0.015		
			Összesen	0.200	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.271	2	0.136	9.016	**0.007**
			Csoportokon belül	0.135	9	0.015		
			Összesen	0.407	11			
	-37.5 cm		Csoportok között	0.179	2	0.089	8.882	**0.007**
			Csoportokon belül	0.091	9	0.010		

		Nem mulcsozott (NM)	Összesen	0.269	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	1.066	2	0.533	31.977	**0.000**
			Csoportokon belül	0.150	9	0.017		
			Összesen	1.216	11			

M3.15. táblázat: A 2018. nyári, nem taposott, a nem mulcsozott és a mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2018, nyár	-7.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	0.488	2	0.244	25.344	**0.000**
			Csoportokon belül	0.087	9	0.010		
			Összesen	0.575	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.026	2	0.013	1.147	0.360
			Csoportokon belül	0.100	9	0.011		
			Összesen	0.126	11			
	-15.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	1.031	2	0.516	65.300	**0.000**
			Csoportokon belül	0.071	9	0.008		
			Összesen	1.102	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.018	2	0.009	1.483	0.278
			Csoportokon belül	0.054	9	0.006		
			Összesen	0.072	11			
	-22.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	1.780	2	0.890	58.402	**0.000**
			Csoportokon belül	0.137	9	0.015		
			Összesen	1.917	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.219	2	0.110	8.915	**0.007**
			Csoportokon belül	0.111	9	0.012		
			Összesen	0.330	11			
	-30.0 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	2.667	2	1.333	73.990	**0.000**
			Csoportokon belül	0.162	9	0.018		
			Összesen	2.829	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.122	2	0.061	4.405	**0.046**
			Csoportokon belül	0.125	9	0.014		
			Összesen	0.247	11			
	-37.5 cm	Nem mulcsozott (NM)	Csoportok között	3.838	2	1.919	38.099	**0.000**
			Csoportokon belül	0.453	9	0.050		
			Összesen	4.291	11			
		Mulcsozott (M)	Csoportok között	0.041	2	0.021	1.038	0.393
			Csoportokon belül	0.178	9	0.020		
			Összesen	0.220	11			

M3.16. táblázat: A három nyári (átlag) nem mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3 nyár NM	-7.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	2,294	2	1,147	115,384	**0,000**
			Csoportokon belül	0,328	33	0,010		
			Összesen	2,622	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	7,680	2	3,840	529,237	**0,000**
			Csoportokon belül	0,239	33	0,007		
			Összesen	7,920	35			
	-15.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	3,811	2	1,905	223,245	**0,000**
			Csoportokon belül	0,282	33	0,009		
			Összesen	4,093	35			

		Taposott (T)	Csoportok között	7,052	2	3,526	490,434	**0,000**
			Csoportokon belül	0,237	33	0,007		
			Összesen	7,289	35			
	-22.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	6,266	2	3,133	246,856	**0,000**
			Csoportokon belül	0,419	33	0,013		
			Összesen	6,685	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	9,951	2	4,975	388,826	**0,000**
			Csoportokon belül	0,422	33	0,013		
			Összesen	10,373	35			
	-30.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	9,092	2	4,546	194,928	**0,000**
			Csoportokon belül	0,770	33	0,023		
			Összesen	9,861	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	19,006	2	9,503	270,194	**0,000**
			Csoportokon belül	1,161	33	0,035		
			Összesen	20,167	35			
	-37.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	12,910	2	6,455	225,665	**0,000**
			Csoportokon belül	0,944	33	0,029		
			Összesen	13,854	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	12,920	2	6,460	160,454	**0,000**
			Csoportokon belül	1,329	33	0,040		
			Összesen	14,249	35			

M3.16.1. táblázat: A három nyári (átlag) nem mulcsozott, nem taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	0,427		
dobos (DÖ)	12		0,627	
öntözetlen (NÖ)	12			1,033
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-15 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	0,645		
dobos (DÖ)	12		0,893	
öntözetlen (NÖ)	12			1,425
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	0,703		
dobos (DÖ)	12		1,463	
öntözetlen (NÖ)	12			1,675
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-30 cm)				
Tukey B_a				

Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	0,990		
dobos (DÖ)	12		1,912	
öntözetlen (NÖ)	12			2,158
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-37.5 cm)				
Tukey B_a				
Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	1,503		
dobos (DÖ)	12		2,437	
öntözetlen (NÖ)	12			2,950
Sig.		1,000	1,000	1,000

M3.16.2. táblázat: A három nyári (átlag) nem mulcsozott, taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a				
Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	0,850		
dobos (DÖ)	12		1,333	
öntözetlen (NÖ)	12			1,978
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-15 cm)				
Tukey B_a				
Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	1,017		
dobos (DÖ)	12		1,714	
öntözetlen (NÖ)	12			2,084
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-22.5 cm)				
Tukey B_a				
Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	1,085		
dobos (DÖ)	12		2,034	
öntözetlen (NÖ)	12			2,313
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-30 cm)				
Tukey B_a				
Öntözési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	1,349		
dobos (DÖ)	12		2,396	
öntözetlen (NÖ)	12			3,119

Sig.		1,000	1,000	1,000
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	2,005		
dobos (DÖ)	12		2,832	
öntözetlen (NÖ)	12			3,468
Sig.		1,000	1,000	1,000

M3.17. táblázat: A három nyári (átlag) mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3 nyár M	-7.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,118	2	0,059	6,398	**0,004**
			Csoportokon belül	0,304	33	0,009		
			Összesen	0,421	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	1,702	2	0,851	65,578	**0,000**
			Csoportokon belül	0,428	33	0,013		
			Összesen	2,131	35			
	-15.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,006	2	0,003	0,199	0,820
			Csoportokon belül	0,486	33	0,015		
			Összesen	0,492	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	1,627	2	0,813	68,021	**0,000**
			Csoportokon belül	0,395	33	0,012		
			Összesen	2,022	35			
	-22.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,125	2	0,062	2,882	0,070
			Csoportokon belül	0,713	33	0,022		
			Összesen	0,838	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,396	2	0,198	10,764	**0,000**
			Csoportokon belül	0,607	33	0,018		
			Összesen	1,003	35			
	-30.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,049	2	0,024	1,631	0,211
			Csoportokon belül	0,492	33	0,015		
			Összesen	0,540	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,258	2	0,129	9,817	**0,000**
			Csoportokon belül	0,434	33	0,013		
			Összesen	0,693	35			
	-37.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,006	2	0,003	0,243	0,786
			Csoportokon belül	0,431	33	0,013		
			Összesen	0,437	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,765	2	0,382	24,536	**0,000**
			Csoportokon belül	0,514	33	0,016		
			Összesen	1,279	35			

M3.17.1. táblázat: A három nyári (átlag) mulcsozott, nem taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
lineár (LÖ)	12	0,403	
dobos (DÖ)	12	0,407	

öntözetlen (NÖ)	12		0,526
Sig.		1,000	1,000

M3.17.2. táblázat: A három nyári (átlag) mulcsozott, taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
dobos (DÖ)	12	0,798		
lineár (LÖ)	12	0,806		
öntözetlen (NÖ)	12		1,263	
Sig.		1,000	1,000	
(-15 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	12	1,183		
dobos (DÖ)	12	1,290		
öntözetlen (NÖ)	12		1,678	
Sig.		1,000	1,000	
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	12	1,564		
dobos (DÖ)	12	1,596		
öntözetlen (NÖ)	12		1,801	
Sig.		1,000	1,000	
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
lineár (LÖ)	12	1,763		
öntözetlen (NÖ)	12		1,901	
dobos (DÖ)	12		1,967	
Sig.		1,000	1,000	
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
lineár (LÖ)	12	1,923		
öntözetlen (NÖ)	12		2,116	
dobos (DÖ)	12			2,280
Sig.		1,000	1,000	1,000

M3.18. táblázat: A három őszi (átlag) nem mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3 ősz NM	-7.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,510	2	0,255	16,306	**0,000**
			Csoportokon belül	0,517	33	0,016		
			Összesen	1,027	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	1,007	2	0,504	41,924	**0,000**
			Csoportokon belül	0,396	33	0,012		
			Összesen	1,404	35			
	-15.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,586	2	0,293	22,998	**0,000**
			Csoportokon belül	0,420	33	0,013		
			Összesen	1,006	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	1,196	2	0,598	36,598	**0,000**
			Csoportokon belül	0,539	33	0,016		
			Összesen	1,735	35			
	-22.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,361	2	0,181	12,947	**0,000**
			Csoportokon belül	0,460	33	0,014		
			Összesen	0,822	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	2,491	2	1,245	37,856	**0,000**
			Csoportokon belül	1,086	33	0,033		
			Összesen	3,576	35			
	-30.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,308	2	0,154	10,214	**0,000**
			Csoportokon belül	0,498	33	0,015		
			Összesen	0,807	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	1,843	2	0,922	21,509	**0,000**
			Csoportokon belül	1,414	33	0,043		
			Összesen	3,258	35			
	-37.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,452	2	0,226	13,564	**0,000**
			Csoportokon belül	0,549	33	0,017		
			Összesen	1,001	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	2,450	2	1,225	58,978	**0,000**
			Csoportokon belül	0,686	33	0,021		
			Összesen	3,136	35			

M3.18.1. táblázat: A három őszi (átlag) nem mulcsozott, nem taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2

lineár (LÖ)	12	1,3817	
öntözetlen (NÖ)	12		1,5833
dobos (DÖ)	12		1,6650
Sig.		1,000	0,260
(-15 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
dobos (DÖ)	12	1,7467	
lineár (LÖ)	12	1,8100	
öntözetlen (NÖ)	12		2,0433
Sig.		0,366	1,000
(-22.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	2,4025	
dobos (DÖ)	12		2,5517
lineár (LÖ)	12		2,6458
Sig.		1,000	0,140
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	2,7675	
dobos (DÖ)	12	2,885	2,8850
lineár (LÖ)	12		2,9942
Sig.		0,064	0,090
(-37.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	3,1642	
dobos (DÖ)	12		3,3717
lineár (LÖ)	12		3,4233
Sig.		1,000	0,594

M3.18.2. táblázat: A három őszi (átlag) nem mulcsozott, taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)		
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05
Öntözési mód	N	

		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	2,0425	
dobos (DÖ)	12		2,3842
lineár (LÖ)	12		2,4092
Sig.		1,000	0,843
(-15 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
dobos (DÖ)	12	2,4000	
öntözetlen (NÖ)	12	2,4583	
lineár (LÖ)	12		2,8125
Sig.		0,510	1,000
(-22.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	2,8467	
dobos (DÖ)	12		3,4008
lineár (LÖ)	12		3,4083
Sig.		1,000	0,994
(-30 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	3,2783	
lineár (LÖ)	12		3,7133
dobos (DÖ)	12		3,7933
Sig.		1,000	0,615
(-37.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	12	3,4817		
lineár (LÖ)	12		3,9458	
dobos (DÖ)	12			4,0942
Sig.		1,000	1,000	1,000

M3.19. táblázat: A három őszi (átlag) mulcsozott talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések

	Mélység			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3 ősz M	-7.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,755	2	0,378	36,724	**0,000**
			Csoportokon belül	0,339	33	0,010		
			Összesen	1,095	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,304	2	0,152	12,476	**0,000**
			Csoportokon belül	0,402	33	0,012		
			Összesen	0,707	35			
	-15.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,034	2	0,017	1,296	0,287
			Csoportokon belül	0,427	33	0,013		
			Összesen	0,460	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,141	2	0,071	4,509	**0,019**
			Csoportokon belül	0,516	33	0,016		
			Összesen	0,657	35			
	-22.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,704	2	0,352	11,429	**0,000**
			Csoportokon belül	1,017	33	0,031		
			Összesen	1,721	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,715	2	0,357	11,906	**0,000**
			Csoportokon belül	0,990	33	0,030		
			Összesen	1,705	35			
	-30.0 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	0,798	2	0,399	19,675	**0,000**
			Csoportokon belül	0,670	33	0,020		
			Összesen	1,468	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	0,945	2	0,473	19,620	**0,000**
			Csoportokon belül	0,795	33	0,024		
			Összesen	1,741	35			
	-37.5 cm	Nem taposott (NT)	Csoportok között	1,604	2	0,802	30,593	**0,000**
			Csoportokon belül	0,865	33	0,026		
			Összesen	2,469	35			
		Taposott (T)	Csoportok között	3,140	2	1,570	70,684	**0,000**
			Csoportokon belül	0,733	33	0,022		
			Összesen	3,873	35			

M3.19.1. táblázat: A három őszi (átlag) mulcsozott, nem taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	12	0,9833		

lineár (LÖ)	12		1,2158	
dobos (DÖ)	12			1,3317
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	12	1,8392		
dobos (DÖ)	12	2,0025		
lineár (LÖ)	12		2,1817	
Sig.		0,073	1,000	
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	12	2,2792		
dobos (DÖ)	12		2,5367	
lineár (LÖ)	12		2,6317	
Sig.		1,000	0,246	
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	12	2,5883		
lineár (LÖ)	12		2,9425	
dobos (DÖ)	12		3,0917	
Sig.		1,000	0,076	

M3.19.2. táblázat: A három őszi (átlag) mulcsozott, taposott eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei

(-7.5 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2
öntözetlen (NÖ)	12	1,5650	
lineár (LÖ)	12		1,6958
dobos (DÖ)	12		1,7892
Sig.		1,000	0,112
(-15 cm)			
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Öntözési mód	N		
		1	2

lineár (LÖ)	12	1,981		
dobos (DÖ)	12	2,056	2,056	
öntözetlen (NÖ)	12		2,134	
Sig.		0,319	0,288	
(-22.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	
öntözetlen (NÖ)	12	2,4100		
lineár (LÖ)	12		2,6625	
dobos (DÖ)	12		2,7400	
Sig.		1,000	0,523	
(-30 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	12	2,7925		
lineár (LÖ)	12		2,9558	
dobos (DÖ)	12			3,1875
Sig.		1,000	1,000	1,000
(-37.5 cm)				
Tukey B_a		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Öntözési mód	N			
		1	2	3
öntözetlen (NÖ)	12	2,9592		
lineár (LÖ)	12		3,2892	
dobos (DÖ)	12			3,6817
Sig.		1,000	1,000	1,000

M4. Fényképfelvételek

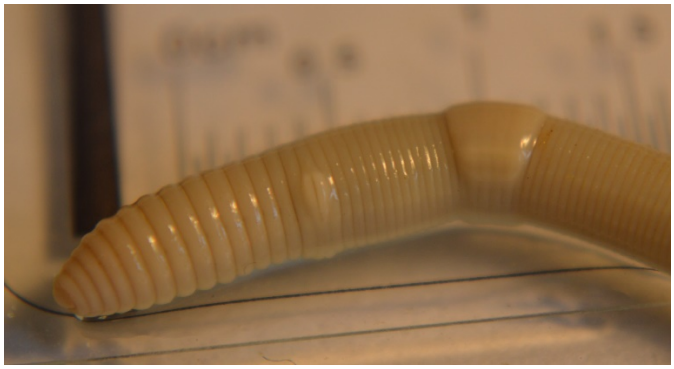
M4.1. Beazonosított földigiliszta fajok

1. *Aporrectodea caliginosa*

2. *Aporrectodea rosea*

3. *Aporrectodea georgii*

4. *Proctodrilus opisthoductus*



5. *Octolasion lacteum*

Forrás: Dr. Simon Barbara

M4.2. A kísérleteket bemutató fényképfelvételek

6. Szabadföldi minták feldolgozása a házi laboratóriumban

7. Felszíntakarás kialakítása a napraforgó (Helianthus annuus, L.) termesztésének évében

8. Irriga System meteorológiai és nedvességmérő szonda a linár öntözőberendezés alatt

9. Szója (Glycine max L.) nem mulcsozott kezelés

10. Kukorica (Zea mays L.) mulcsozott kezelés – kézi nedvességmérő műszer

11. Művelési eredetű talajtömörödéssel érintetett sáv

12. Tél végén gyakran megfigyelhető belvízfolt

13. Lineár öntözőberendezéssel végzett kelesztő öntözés

14. A víz lassú beszivárgása lineárral végzett öntözést követően

15. Hibrid kukorica (Zea mays L.) a kihelyezett szondával

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Öntözés, szerves talajtakarás és a művelési eredetű talajtömörödés földigiliszta közösségre gyakorolt hatásainak komplex vizsgálata

című
Doktori (PhD) értekezésem elkészítéséhez
nyújtott szakmai támogatásért

köszönettel tartozom témavezetőmnek

Dr. Birkás Márta
egyetemi tanárnak,

valamint a földigiliszta fajok beazonosításában nyújtott
segítségért
Dr. Simon Barbarának
egyetemi docensnek,

továbbá a statisztikai analízisben nyújtott segítségért
Dr. Vinogradov Szergej
egyetemi docensnek.

Külön köszönettel tartozom:
Dr. Dekemati Igornak
és a
Riego Növénytermesztési Kft. munkatársainak a
kutatási évek alatt nyújtott nélkülözhetetlen szakmai segítségért.

Oppononseimnek, akik szakértő tanácsai segítettek a
dolgozatom színvonalasabbá tételében.

Megkülönböztetett köszönettel tartozom:
a családomnak és barátaimnak.