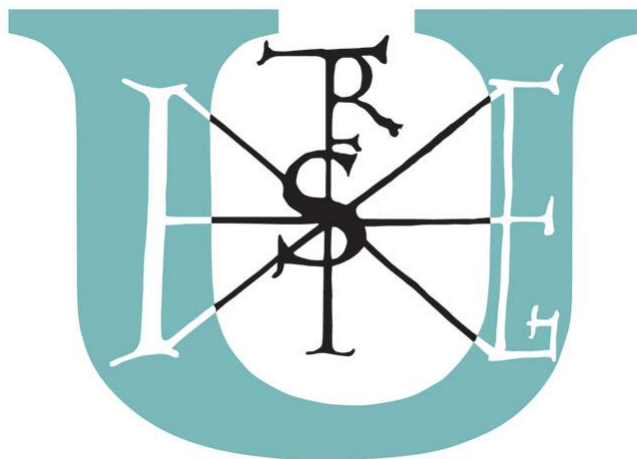




Klímakár eredetű talajminőség romlás és kármegelőzés

Doktori (PhD) értekezés

Kende Zoltán

Gödöllő

2019

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktor Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Helyes Lajos
Intézetigazgató egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Kertészeti Intézet

Témavezető: Dr. Birkás Márta
Egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Növénytermesztési Intézet

.....
Dr. Helyes Lajos
iskolavezető

.....
Dr. Birkás Márta
témavezető

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. A talajokat sújtó klímajelenségek	8
2.1.1. A térségünkre vonatkozó prognózisok	8
2.1.2. A közelmúlt időjárási eseményei	9
2.3. Klimatikus talaj-stresszorok	12
2.3.1. Szárazság- és hőstressz	12
2.3.2. Csapadék-stressz	13
2.3.3. A fagyás és olvadás hatása a talajokon	15
2.2. A talajállapotot befolyásoló nem klimatikus tényezők	15
2.2.1. A talaj fizikai tulajdonságai	15
2.2.2. Jó és a rossz talajállapot	17
2.2.3. Az Edafon szerepe a talajállapot alakulásában	19
2.2.4. Földigiliszta-tevékenység	19
2.3. A talajokat érő gazdálkodási eredetű hatások	20
2.3.1. A szántóföldi talajhasználat és a talajművelés fejlődése	20
2.3.2. A talaj szerkezetét és nedvességmegtartó-képességet befolyásoló tényezők	23
2.3.4. Por és kéregképződési folyamatok	25
2.3.5. A talajtakarás hatása a talajra	27
2.3.6. Talajművelés és növényvédelem	28
2.5. A talajvédelem jogszabályi háttere	30
2.5.1. Európai Unió közösségi szabályozás	30
2.5.2. Hazai jogalapok	31
2.6. A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai	32
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	34
3.1. Szántóföldi kísérlet körülmények bemutatása	34
3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés	34
3.1.2. Éghajlati viszonyok	34
3.1.3. Talajadottságok	34
3.2. A vizsgálati idő	35
3.3. A kísérlet kezelése, termesztéstechnológiai leírása	35
3.4. Vizsgálatok módszerei	36
3.4.1. A talaj agronómiai szerkezetének vizsgálata	36
3.4.2. Talajnedvesség mérés	37
3.4.3. Talajjellenállás mérés	37
3.4.4. Kéregvastagság vizsgálat	37
3.4.5. Földigiliszta egyedsűrűség számlálás	37
3.4.6. A termés mutatók meghatározása	38
3.4.7. Talajlaboratóriumi vizsgálat	38
3.5 Vizsgálatok gyakorisága	39
3.6. Statisztikai és adatelemzési módszerek	39

3.6.1. Alkalmazható skálátípusok	39
3.6.2. Alkalmazott statisztikai módszerek	40
4. EREDMÉNYEK	42
4.1. A kísérleti területen mért csapadék adatai	42
4.2. A kísérletet leíró statisztikai összegzés	43
4.2. Az eredmények homogenitásának vizsgálata	44
4.3. Talajszerkezeti vizsgálatok eredményei	45
4.3.1. A porfrakció vizsgálatának eredményei	45
4.3.2. Az aprómorzsa frakció vizsgálatának eredményei	47
4.3.3. A morzsa frakció vizsgálatának eredményei	48
4.3.4. A rögrakció vizsgálatának eredményei	49
4.4 A talajnedvesség vizsgálat eredményei	51
4.5 A talajjellenállás vizsgálat eredményei	54
4.4. A kéregvastagság vizsgálatok eredményei	57
4.5. A földigilisztaszám vizsgálatának eredményei	58
4.5 A termés alakulása	60
4.6. A MANOVA vizsgálat eredményei	61
4.7. Pearson-féle korrelációs együtttható-mátrix számításának eredményei	62
4.8. A főkomponens-analízis eredményei	66
4.9 Humusztartalom vizsgálat eredményei	68
4.10 Arany-féle kötöttség vizsgálatának eredményei	74
4.11 Művelési teljesítményrangsor	75
4.12 Új tudományos eredmények	79
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	80
6. ÖSSZEFOGLALÁS	83
7. SUMMARY	85
8. MELLÉKLETEK	87
M1. Irodalomjegyzék	87
M2.1 Táblázatok jegyzéke	100
M2.2 Ábrák jegyzéke	101
M3. A kísérlet beállításának sematikus ábrázolása	103
M4. Az eredményeket alátámasztó statisztikai elemzések segédtablázatai	104
M5. FOTÓMELLÉKLET	125
M6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	128

Jelölések, rövidítések jegyzéke

CsiroM2A – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization Model 2A
 EEO – Egységes Európa Okmány
 EK – Európai Közösség
 ENSZ – Egyesült Nemzetek Szervezete
 EU – Európai Unió
 EUROSTAT – European statistics
 EUSZ – Európai Unióról szóló
 FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
 GAEZ – Global Agro-Ecological Zones
 IFPRI – International Food Policy Research Institute
 IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis
 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
 JRC – Joint Research Centre
 KSH – Központi Statisztikai Hivatal
 MTA AKI TAKI – Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet
 MTI – Magyar Távirati Iroda
 OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development
 OMSZ – Országos Meteorológiai Szolgálat
 PM10 – Particular Matter – 10 mikronnál kisebb szálló por részecske
 RCP – Representative Concentration Pathway
 Si – Suitability Index
 SI – Système International d’Unités
 TSP – Total Suspended Particles - Összes lebegő részecske
 ÜHG – Üvegházhatást okozó gázok
 WRB – World Reference Base

1. BEVEZETÉS

A globális klíma sosem volt állandó, számos változáson ment át a földtörténeti korok során. Ezért nincs meggyőző bizonyíték arra, hogy az emberiség az elmúlt száz-százötven évi tevékenysége milyen módon és mértékben járul hozzá a napjainkban egyre inkább érezhető klímaváltozáshoz. Annyi bizonyos, minél inkább haladunk a globális viszonyok megfigyelésétől a lokális szintekig, annál észrevehetőbb az átlagostól eltérő szokatlan időjárási események gyakorisága, valamint ezek szokatlan egymást hirtelen váltó fluktuációja. Az extrémnek nevezhető időjárási események és az ezekből következő általános talajpusztulás – főként az erózió és defláció okán – jelentős agrárgazdasági károkat okoznak, különösen okszerűtlen talajművelés esetén. A vonatkozó kutatások száma azonban nem elégséges, és a témával kapcsolatos ismeretek is csak részlegesek, nem rendszerszintűek. A klasszikus talajminőség tényezők klímakárookra való reagálása új kutatási kihívásnak számít. A talajt érő gazdálkodási és a klíma eredetű károk felmérése és a rájuk részbeni vagy teljes megoldás keresése nem csak tudományos, de nemzetgazdasági érdek is.

Kutatási munkám célkitűzései a fentieknek megfelelően a következők voltak:

1. Művelési beavatkozások hatásának vizsgálata tartamkísérletben a talaj állapotára és a termésre, a vizsgálati évekre jellemző nedvesség-viszonyok között, sűrű és széles sorközü növények termesztése esetén.
2. A művelési beavatkozások és a talajszerkezet összefüggéseinek vizsgálata, különös tekintettel a por és kéregképződésre, és a földigilisztaszámra.
3. A humusztartalom változásának értékelése a tartamkísérlet 16. évében, tekintettel a művelési kezelések eltérő hatásaira.
4. Javaslattétel a klíma- és a gazdálkodási eredetű károk hatását csökkentő, a termésbiztonságot növelő művelési megoldásokra, valamint a vizsgált paraméterek alapján művelési teljesítményrangsor felállítása.

E célok alapján eredményeim bemutatásának sorrendje követi az adatok mérési gyakoriságát: időjárási, talajszerkezeti, talajnedvességi, talajellenállási, kéregvastagsági és földigiliszta aktivitásra utaló adatok és elemzésük, majd a talajvizsgálatok és a rangsorolás eredményeit mutatom be a következtések fejezet előtt.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

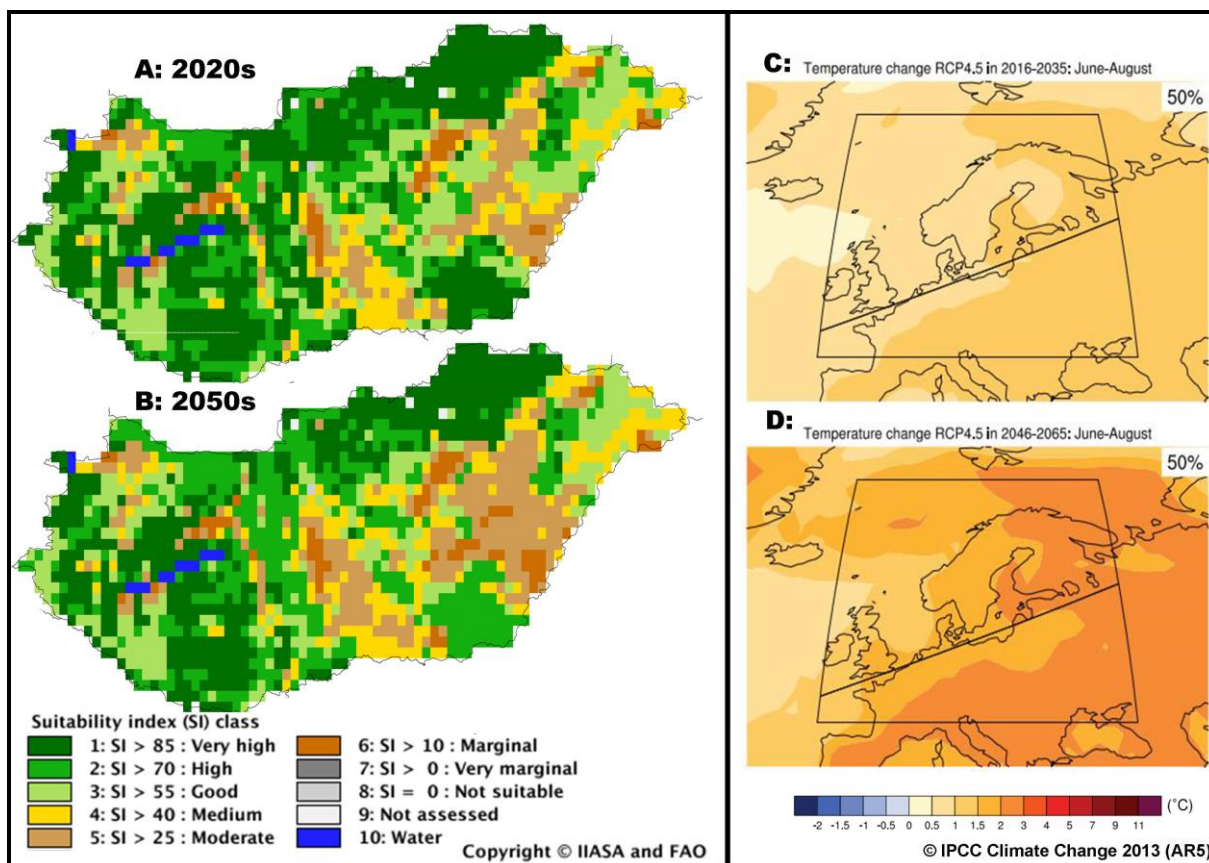
Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezetének (FAO) adatai szerint 2013-ban a világon megközelítőleg 842 millió ember szenvedett rendszeresen éhezésben és alultápláltságban (FAO 2013), e szám 2017-ben 821 millióra csökkent, amely a javuló tendencia ellenére még mindig a Föld lakosságának, mintegy 10%-a (FAO 2018). A különböző klímamodellek és előrejelzések viszonylag összhangban azt mutatják, hogy Európában az élelmiszertermelés mértéke, főként azon belül a két fő szántóföldi kultúra (búza */Triticum aestivum/* és kukorica */Zea mays/*) hektáronkénti termésátlaga 25–35%-kal fog csökkenni az elkövetkezendő 40 évben (IFPRI 2013, FAO 1996, REILLY 1994). Az élelmiszerek átlagos ára az EUROSTAT árindexe alapján az elmúlt 10 évben, mintegy 57,7%-kal emelkedtek, ezzel párhuzamosan az OECD 2013-as adatai alapján a magyar lakosság 31%-a érzi úgy, hogy nem képes megvásárolni önmagának azt a minőségű és mennyiségű élelmiszert, amit szeretne (OECD 2013). Az adatokat figyelembe véve egyértelművé válik, hogy a költség-, energia- és erőforrás hatékony mezőgazdasági ártermelés a következő években még inkább központi kérdéssé válik hazánkban is.

A klímaváltozás veszélyeire nem csak az IPCC által kiadott tanulmányok kísérelik meg felhívni a figyelmet, de számos nemzetközi és hazai kutatás is. Ezen kutatások többségükben ugyanarra a következtetésre jutnak, vagyis a klímaváltozás hatására a csapadékos napok száma Kelet-Közép Európában csökkenni fog, ellenben az extrém egyenlőtlen csapadékeloszlású napok száma növekedni fog (IPCC 2013, NISTOR 2018). Ezekre a klímaeseményekre a felkészülés a területi adatok hiánya miatt lassan halad, továbbá a hirtelen jött szélviharok, jégesők és zivatarok ellen a védekezés is nehéz feladat (SOARES et al., 2017). A hazai növénytermesztés számára a szélsőséges időjárás események kivédésére az egyetlen megoldást az elérhető technológiákkal történő alkalmazkodás jelenti, amelynek alapját az okszerű talajművelés adja (BIRKÁS et al., 2006). Mindazonáltal ehhez a meglévő tudás szintetizálására és az új kutatások eredményeinek adaptálására van szükség a hazai gazdálkodási gyakorlatban.

2.1. A talajokat sújtó klímajelenségek

2.1.1. A térségünkre vonatkozó prognózisok

Számos tanulmány és prognózis kísérli meg felhívni a figyelmet a térségünkben érezhető időjárásváltozás következményeire. A legismertebb tanulmányokat az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) adja ki napjainkban, emellett a FAO is készít előrejelzéseket.



1. ábra: A magyarországi agrártermelési alkalmassági index előrejelzése a 2020 – 2050-es évekre (A-B) (FAO GAEZ, <http1>); Az IPCC átlaghőmérsékleti előrejelzése az európai régióra 2016 – 2065 között (C-D) (IPCC 2013).

A klímakárok megelőzésének fontosságát jól mutatja az IIASA – FAO GAEZ rendszerében készített a CsiroM2A klímamodellen alapuló agrártermelési alkalmassági indexének (Suitability Index /Si/) a 2020 – 2050-es évekre történő előrejelzése (1. A-B ábra), valamint az IPCC az európai régióra vonatkozó RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway) modelljén alapuló 2016 – 2065-ös időszakra vonatkozó átlaghőmérsékleti előrejelzése is. A GAEZ Si modell 5 arc-min (5/60-ad fok) felbontásban veszi figyelembe a talaj és a lejtőtulajdonságokat, a területek potenciális agro-ökológiai és agro-klimatikai adottságait és a közepes öntözés nélküli input-szintet, amelyekből megbecsüli az adott területre eső

lehetséges, maximális termelési potenciált, a jelen ábrán a hazai legfontosabb gabonanövény a búza esetében. Az IPCC-RCP modellje többek közt az Európában várható átlaghőmérsékleti változást becsüli meg az elmúlt 30 év átlaghőmérsékletei és a mostani és a jövőben várható üvegházhatási gázok (ÜHG) kibocsátási szintjei alapján. A két modell egymástól függetlenül azt jelzi előre, hogy hazánkban jelentősen romlani fognak a termelési körülmények, valamint az átlaghőmérséklet is legalább 2 °C-al emelkedni fog. Hosszú távon a magyar agráriumnak alkalmazkodnia kell a megváltozó klimatikus körülményekhez és az ezekből kialakuló extrém klímaeseményekhez a termés kiesés, valamint az egyéb gazdasági károk megelőzése érdekében. Az alkalmazkodást azonban a termelés alapját adó talaj védelmével kell elkezdni.

2.1.2. A közelmúlt időjárási eseményei

A globális klímaváltozás és az időjárás változékonyság miatt a talajok általános állapota több figyelmet igényel. Az utóbbi évtized időjárási szélsőségei és azok kiszámíthatatlansága megkérdőjelezi a szokásos, hagyományos talajművelési rendszerek eredményességét. A XXI. században élő szakemberek és kutatók egyik fő feladata, hogy az eddigi módszereket továbbfejlesszék, különösen a nyári és az őszi művelések, valamint a magágykészítés tekintetében (BIRKÁS 2009). A 2000-es és a 2010-es évek elején a legtöbb gazdálkodó és kutató még kevésbé észlelte ennek a szükségességét, annak ellenére, hogy az elmúlt öt év időjárása bővelkedett klímaeseményekben.

A 2010. év meglepő és fordulatos volt klimatikus szempontból. Az év folyamán számtalan vihar, felhőszakadás, áradás okozott hatalmas károkat (SOLYMOS 2010). Az extrém időjárást az egymás után érkező mediterrán ciklonoknak tulajdonították. Az évi gabonatermést talán legjobban sújtó két ciklon a Zsófia (2010. május 15–18.) és az Angéla (2010. május 31.–június 4.) volt, ugyanis ebben az időszakban az 1971–2000 évek közötti időszak átlagos csapadékösszegének mintegy másfélszerese, 115 mm hullott (MÓRING et al., 2011). A sok csapadék a mezőgazdasági területek belvízi elöntését okozta, amely az előző 2009. év végén is több körzetben megjelent, súlyos méreteket azonban csak 2010 januárjától kezdett elérni (IVÁNYI 2010). A nagymennyiségű csapadék a téli-tavaszi időszakban országos szinten mintegy 179 000 hektárt, a nyári időszakban több mint 230 000 hektárt sújtott belvízzel (VKKI 2010; Pálfai 2010). Az esőzések méretét jól mutatja, hogy az év végére a Hatvan melletti kísérleti tér környékén is 996,6 mm csapadék hullott, a sokévi 600 mm átlaggal szemben (OMSZ 2013). A csapadék az adott évben számos kárt okozott a talajokban nem csak a kísérleti területen, hanem országos szinten is. A felszíni por lemosódott a mélyebb talajrétegekbe, amely az addig kialakult tömörödött rétegeket, az ún. talpakat

tovább növelve fokozta a talaj tömörségét. A sok csapadék és a vízpangás eliszapolta a talaj felszínét, az iszap később kiszáradt és kemény kéreggá alakult. Ezek a jelenségek a talajok szerkezetének romlásán keresztül rontották a növénytermesztés esélyeit. Ebben az évben számos vihar sújtott a térséget. A viharokat sok esetben kísérte jégverés, amely rendkívül nagy pusztítást okozott 2010. júniusban Mezőhegyes térségében (BIRKÁS et al. 2012).

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) 2011. évi jelentéséből kiderül, hogy a csapadékos és belvizes 2010. után viharoktól mentes, rendkívül száraz év következett. A nagy viharok elmaradását bizonyítja az is, hogy az OMSZ 2011-ben nem adta ki a legmagasabb fokozatú piros riasztást. A viharok kisebb mérete és kevesebb száma kihatással volt az évi csapadékösszegre, amely országos átlagban az év végén 28% hiányt mutatott. Az Magyar Agrárkamara és az MTI szerint a 2011. őszi repcevetésnek mintegy 50%-a nem kelt ki, de a kalászosok kelése is elhúzódott (MTI 2011a-b). A talaj előkészítése a száraz, tömörödött állapot miatt sok helyen lehetetlenné vagy nagyon költségessé vált.

A 2012. évben két piros riasztást adott ki az OMSZ. Ezen felül a február és a december kivételével minden hónap átlaghőmérséklete a sokévi átlag fölött alakult $+0,9$ – $+3,1$ °C-al, amely az évi középhőmérsékletet $+1,4$ °C-al növelte meg. A hőmérséklet többlet növelte a 2012. aszály mértékét, az év folyamán a csapadék hiánya 17%-ot ért el. A csapadék eloszlása is igen szélsőséges volt, ugyanis az elmúlt 100 év legszárazabb augusztusa után októberben a sokévi átlag 155%-a hullott.

Az OMSZ adatai alapján a 2013. év szélsőségesen alakult. Az év eleji hónapok nem voltak túl hidegek, -7 – $+10$ °C között alakult az átlaghőmérséklet. Ugyanakkor 2013. március 14-15-én egy meleg Mediterrán és egy Északi hideg ciklon találkozott hazánk felett. A ciklonok hatására a hőmérséklet mintegy 10 °C-kal csökkent, nagymennyiségű csapadék hullott hó formában, amelyet rendkívül erős akár 100 km/h széllelés kísért, s az ekképpen kialakult hófúvások megbénították szinte az egész országot. Az előbbi klímaeseménynek, továbbá az előző két hónap csapadékának köszönhetően a 2013. évi első három hónap sokévi átlagban a legcsapadékosabb időszaknak bizonyult. A márciusi eseményt száraz április majd igen csapadékos májusi-júniusi időszak követte. A nyári csapadékhiányhoz magas hőmérséklet is járult; az OMSZ nyolc alkalommal adott ki harmadfokú piros riasztást. Ebben az évben az ősz ismét csapadékosná vált, míg decemberben szárazság dominált. Az ingadozások ellenére a sokévi átlagokhoz képest a 2013. év 14 % csapadéktöbblettel, $+1,1$ °C átlaghőmérséklettel és 10 % napfénytartam többlettel zárult (FODOR et al., 2014; OMSZ 2013). Az extrém klímaesemények hatása a talajokon is megmutatkozott. Az alacsonyabb területeken belvizek és vízpangások keletkeztek, a helyükön pedig előbb iszap, majd kéreg képződött. A

vízpangások megnehezítették az időben történő vetést, továbbá a keletkezett iszap és por a növények csírázását és kelését is hátráltatta. (BOTLIK et al., 2014; BIRKÁS et al., 2014).

A 2014. év nem a nyári hőség miatt lett átlagnál melegebb, hanem az év folyamán mért hőátlagok növekedése okán. Ebben az évben mérték az egyik legnagyobb évi összcsapadékmennyiséget is, amely országos átlagan 739 mm-t ért el. A többletet főként a nyári és őszi időszakban (július, október) átlagosan 54%-kal több lehullott eső jelentette, amely a kritikus időszakban összesen 21 napon eredményezett legalább citrom fokozatú figyelmeztetést az egy nap alatt lehulló több mint 20 mm csapadék miatt. Ezért lehetett pl. Budapest-Rákoscscaba térségében kiemelkedően magas, 1228 mm az éves csapadékösszeg (FODOR et al., 2015).

A 2015. a mérések történetében a harmadik legmelegebb évnek bizonyult, s csak 0,2 °C-al maradt el az előző évtől az országos átlaghőmérséklet. Ebben az évben nyári aszályok is felléptek. Csapadék tekintetében országosan is átlagosnak mondható az év, a sokévi átlag 92%-a, mintegy 538 mm csapadék hullott. A csapadék eloszlását azonban szélsőséges egyenlőtlenség jellemezte. Januárban és októberben a sokévi átlag duplája hullott le, míg a február–április és június–július időszakokban a sokévi átlaghoz képest mintegy 50%-kal kevesebb. Ezzel szemben nagy mennyiségű csapadék lehullására (>20mm/nap) augusztustól novemberig terjedő időszakban 19 alkalommal adtak ki legalább citromsárga figyelmeztetést (KOLLÁTH et al., 2016).

A 2016. év globálisan az addigi legmelegebb évnek minősült, azonban hazánkban csak a tizenegyedik legmelegebb évnek számított. Az évet melegebbnek minősített február, majd enyhébb tavasz jellemezte. A sokévi átlaghoz viszonyítva 0,8 °C-al volt magasabb az évi országos átlaghőmérséklet. Csapadék tekintetében újólág a szélsőségek uralkodtak, csapadékos és száraz periódusok váltották egymást. Januárban és februárban a sokévi átlag 85%-a hullott le, amelyet rendkívül száraz március és április követett, ekkor az átlaghoz képest 85% és 41%-kal hullott kevesebb csapadék. Ellenben a májustól júliusig tartó időszak csapadékosná vált, júliusban 93%-kal több csapadék hullott az átlaghoz viszonyítva. Ezt a periódust átlagosan 70%-kal szárazabb augusztus és szeptember követte majd egy rendkívül csapadékos október és november, amikor átlagban 60%-kal több csapadék hullott a sokévi átlaghoz viszonyítva. Decemberben átlagosnak nevezhető csapadék hullott. Az országos összesített csapadék 1019 mm (Miskolc-Lillafüred) és 535 mm (Rajka) között változott.

A fentebb értékelt hat esztendő időjárása hatást gyakorolt a jelen dolgozat alapjául szolgáló vizsgálatokra. A 2010 és 2016 évek között az elmúlt száz évben Magyarországon előfordult legcsapadékosabb (2010) és legszárazabb (2011) évét regisztrálta az OMSZ, ahogyan a legszélsőségesebb csapadékeloszlást is (2016). Összeségében elmondható, hogy a hőségnapok

száma növekedett, ugyanúgy a 20 mm/nap csapadékmennyiséget meghaladó napok száma is. A csapadék területi eloszlása ugyancsak szélsőségesebb lett, a csapadékkülönbség a keleti és nyugati országrészek között sokévi átlagban éves szinten eléri a 15-20%-ot is (http2).

2.3. Klimatikus talaj-stresszorok

2.3.1. Szárazság- és hőstressz

A szárazság- és hőstressz az egyik leggyakrabban említett faktor a szántóföldi növénytermesztésben. Kialakulásuk összetett folyamat eredménye, amelynek első eleme a Napból érkező sugárzás. A különböző hullámhosszokon érkező napsugárzás a látható fény tartományában (390 – 750 nm) a legintenzívebb, ezért az ibolya, a kék, a narancs és a vörös fény elnyelésének köszönhetően működik nagy hatásfokkal a fotoszintézis. A napsugárzás legnagyobb része a légkör felső részét éri el, ahol a napállandó ($\text{W/m}^2/\text{s}$) 1390 W/m^2 . A sugárzás a légkört elérve transzpirálódik és abszorbeálódik amint eléri a felhőket, gázmolekulákat a légkörbe lévő szennyeződések, valamint a felszínt. A Föld felszínét Magyarországon csak kb. $800 - 1000 \text{ W/m}^2$ sugárzás éri. A sugárzás mennyiség felmelegíti a felszínt, amely pedig a felette elhelyezkedő levegőt. A levegő a sugárelnyelő hatása miatt nehezen melegszik fel magától, tehát a beeső sugárzás főként a felszínen át hat rá. Itt említendő meg a Stefan – Boltzmann törvény, amely szerint, minél nagyobb a besugárzás mennyisége, annál jobban melegszik a talajfelszín, de annál nagyobb a légkört melegítő kisugárzás mértéke is. A felszín és a légkör felmelegedését azonban befolyásolja a Föld – Nap távolsága (évszakhatás), a domborzat, a felszín minősége és színe, valamint az aktuális időjárás (IQBAL, 1983, BARTHOLY et al. 2013, PÁTKAINÉ, 2014).

Hazánkban az OMSZ mérései alapján a sokéves átlaghoz képest 2013-ban nem csak a napsütéses órák száma, de a teljes globálugárzás (direkt és diffúz sugárzások összessége) mértéke is nőtt. A napsütéses órák száma az előző évek átlagának mintegy 110%-a lett. A sugárzás növekedése azt jelenti a hazai viszonylatban, hogy egyre jelentősebb szárazság- és hőstresszre kell felkészülni a mezőgazdaságban. Magas napi középhőmérséklet esetén hőstressz sújtja a növényeket, amely befolyásolja többek közt a növény sejtmembránjait, gátolja a fotoszintézist a szén-dioxid fikszió gátlásával (PETHŐ, 1993). A gyakorlatban ilyen esetben szokott a táblákon például a kukorica „furulyázni”, „pipálni”.

A szárazság és hőstressz a növényeken közvetve, a talajokon közvetlenül jelenik meg. Az első és legfontosabb jelenség a talajok kiszáradása, a felszíni porképződés felgyorsulása. A kiszáradó talajokban az erős párolgás vagy a magas sótartalom okozta ozmotikus vízkötés miatt a nedvességtartam eléri a Holtvíz határt. Ekkor a növények nem képesek több vizet

felvenni a talajokból, vagyis az előbb említett tünetek jelentkezhetnek (RAJKAI, 1988). A keletkező por pedig vagy lemosódik a csapadék hatására idővel, amely a talaj tömörödéséhez vezethet, vagy pedig a defláció hatására elhordás és akár porverés megy végbe (BIRKÁS, 2012).

A szárazság hatására talajok zsugorodása is bekövetkezik. Amikor a nedves talajtömeg a hő hatására száradásnak indul, a kapilláris erők révén a talaj részecskék veszítenek térfogatukból, azaz zsugorodnak. A zsugorodás közben az elpárolgó víz helyét levegő foglalja el. A zsugorodás mértéke annál nagyobb, minél finomabb szemcséjű a talaj, s minél nagyobb az agyagásvány tartalma. Ezt a jelenséget általában a talaj felszínét érintő, akár több centiméter vagy méter mélységig tartó repedések kísérik. A talaj repedezése közben a növények gyökerei elszakadhatnak, a növények kipusztulhatnak, viharosabb időben ki is dőlhetnek. A szárazság és hőstressz egymás hatását felerősítve a körülményekhez alkalmatlan talajművelés esetén tovább súlyosbíthatja a talajpusztulást és fokozhatja a termésvesztést (FAUR et al. 2011; BIRKÁS, 2010).

A hő és szárazság stressz a talajban élő mikrobaközösségeket is károsítja. Először a gombák és baktériumok diverzitása csökken, ezáltal csökken a mikrobák enzimtermelése, amely a talajfunkciókra is hátrányos hatással van. A mikrobaközösségek csökkenő diverzitása kihatással van a talajok stressztűrő-képességére különös tekintettel a szántföldeken (RIAH-ANGLET et al., 2014), mivel a talajhasznosítás formája meghatározza a talaj mikrobaösszetételét (JACKSON et al., 2003; BISSETT et al., 2011), ezáltal a klimatikus stresszorokkal szembeni ellenállóságát is (RIAH-ANGLET et al., 2014).

2.3.2. Csapadék-stressz

A talaj a legnagyobb potenciális víztározó, mivel az évi csapadékmennyiség akár kétharmadát is képes tárolni (VÁRALLYAY és FARKAS, 2008). Maga a csapadék-stressz új fogalom (BIRKÁS et al., 2011). A túl nagy mennyiségű csapadék a talaj szerkezetének a leromlását, a növényi állomány megritkulását esetleg teljes kipusztulását okozhatja.

A nagymennyiségű csapadék elsődleges pusztító hatása a felszínt érő, az esőcseppek által okozott mechanikai stressz, amely jellegzetes formákat okoz a felszínen és kimoshatja a sekélyen vetett magokat. A beszivárgó csapadék a felszínen és a felső rétegekben lévő port mélyebbre mosva a talaj tömörödéséhez, továbbá a meglévő természetes vagy mesterséges tömör rétegek vastagodásához vezethet. A folyadékfázis gyarapodása kiszorítja a talajból a levegőt, ezért a növények gyökerei és a mikroorganizmusok nem kapnak elegendő oxigént, amely a talajélet hanyatlását idézheti elő. A telítődött rendszerben elnyelődni nem képes víz

síkvidéken vízpangást, felszíni vízállást okoz, amely később kérgesedéshez és a felszín mohosodásához vezet.

Lejtős területeken a nagymennyiségű csapadék erózió formájában pusztítja a termőréteget (BIRKÁS et al., 2010a). Az eróziós folyamatok számszerűsítésére alkalmazható az ún. USLE (Universal Soil Loss Equation) azaz az Egyetemes Talajvesztési Egyenlet alkalmazása. Az egyenlet tapasztalati úton levezetett talajvesztés-becslő módszer, amely a leggyakrabban és a legszélesebb körben használt módszer. A modell alapjait WISCHMEIER és SMITH (1978) dolgozta ki (CENTERI, 2001).

Mivel a talajok termékenysége, azok klímakárok általi érintettségével fordított arányban csökken, ezért jelentős gazdaságosságot befolyásoló tényezőről beszélhetünk. A nem erodált talajon a termést 100%-nak véve a gyengén erodált területen a potenciálisan elérhető termés 80%-a, míg az erősen erodálton csak 40%. Ezek az arányok azonban termesztett növényenként változnak (STEFANOVITS et al., 1999).

Megjegyzendő, hogy nem csak a sok csapadék képes stressz-hatást kiváltani a növényekben és a talajokon, hanem ellenkezője is. Ilyen jelenség az aszály, amely alapvetően huzamosabb ideig tartó csapadékhiány, amikor is a talaj hidrológiai egyensúlya megbomlik. Az aszályhajlam hazánk egyik éghajlati sajátossága. Kialakulásában legfontosabb tényező a csapadékhiány, de összefüggésben van a talajokat érő hőstresszel is (PÁLFAI et al. 1999). Aszály tekintetében meteorológiai, mezőgazdasági, hidrológiai és szocio-ökonómiai aszályról lehet beszélni (PASSIOURA 2007; SHIAU et al., 2012; ZARGAR et al., 2011). Más megközelítésben az agráriumot és a növénytermesztést sújtó aszálynak több változata is megkülönböztethető VÁRALLAY (2005a) és HOROSZINÉ (2010) alapján:

- Fiziológiai aszály: más néven relatív vízhiány, nem valódi aszály, csak a talaj és a gyökérzóna hőmérséklet különbsége miatt a növény nem tudja felvenni a szükséges folyadékmennyiséget;
- Légköri aszály: a talajnedvesség bár adott, de a növény a levegő alacsony relatív páratartama, a meleg és a szél miatt „páraéhségben szenved”;
- Talajaszály: a talajnedvesség eléri a holtvíz szintjét, azaz a gyökérzet nem képes a megkötött vizet felvenni.

Aszály főként akkor fordul elő, ha az evaporáció és a transpiráció okozta nedvességvesztés huzamosabb ideig meghaladja a hullott csapadék mennyiségét. Ekkor lényegében megszűnik a növényekben a szárazanyagképzés (SZINAY 2007; HOROSZINÉ 2010). Számos tanulmány, modell és index kísérli meg a talajban lejátszódó folyamatokat az aszály

előrejelzés szolgálatába állítani (PALMER 1965; MARTÍNEZ-FERNANDEZ et al., 2005; CAMMALLERI et al., 2016), azonban a pontosságuk jelenleg még vitatott (HALWATURA et al., 2017). Hazánkban a legelterjedtebb a Pálfai-féle (PAI) aszály index, amelyet alapképlete alapján a napi hőmérsékleti és csapadék adatok hányadosából számolnak ki (PÁLFAI 1989; GULÁCSI és KOVÁCS 2018). Fontos megemlíteni, hogy az elmúlt évszázadban a talajok vízháztartására a klímaváltozás igen kedvezőtlen hatással volt (NISTOR 2018). Hazánkban a talajvíz szintje főleg a Duna-Tisza közén jelentősen csökkent, ennek betudhatóan változott a talajok aszálytűrő képessége is (BAICS és CENTERI 2011).

2.3.3. A fagyás és olvadás hatása a talajokon

A korábban említett a ki- és besugárzás mértéke nem csak felmelegedést, de lehűlést is okozhat, ha a felszí kisugárzás mértéke tartósan nagyobb, mint a besugárzásé, továbbá, ha az időjárás is felerősíti ezt a hatást. Ebben az esetben fagyról, a talajban lévő folyadékfázis megfagyásról beszélünk. A talajon a fagyjelenségek a téli időszakban jellemzők. A fagy áldásos hatását még a régi iskola szerint abban látták, hogy az őszi szántáskor keletkezett hantok, rögök az őszi beázásuk után a fagy hatására szétesnek morzsákra és könnyebben kezelhetővé alakulnak (CSERHÁTI 1891; SURÁNYI 1957). Napjainkban az alkalmazkodó talajművelés elterjedésével az őszi szántások és más talajmunkák áttelelésre alkalmassága kerül előtérbe. A téli fagyok során előbb ún. fagymorzsa, később por keletkezik. Minél nagyobb a fagnak kitett felület, annál több por alakul. A por szél és víz által is könnyen elmozdítható (BIRKÁS 2002; BIRKÁS et al., 2006).

2.2. A talajállapotot befolyásoló nem klimatikus tényezők

2.2.1. A talaj fizikai tulajdonságai

STEFANOVITS és munkatársai (1999) szerint minden talajtípus jellemezhető a főbb talajfizikai tulajdonságokkal: a szemcseösszetétellel, a szerkezettel, a térfogattömeggel, a pórustérfogattal, a víz- és hőgazdálkodási jellemzőkkel, valamint a vízgazdálkodási tulajdonságokkal. Ezekkel a tulajdonságokkal és objektív értékekkel jellemezhető a talaj állapota is (BIRKÁS 2002). Igazolja ezt VÁRALLYAY (2005b) megfogalmazása is, amely szerint a talaj sokoldalú funkcionális képességeit befolyásolják annak állandó és változó fizikai tulajdonságai, állapota.

SCHMIDT (2011) leírja, hogy a talajok szemcseösszetétel (textúrája) a kőzetben vagy a talajban található a különböző méretű szemcsék arányát fejezi ki. Ezt mechanikai összetételnek vagy fizikai talajféleségnek is szokás nevezni. Praktikusan az ATTERBERG

(1905) által kidolgozott frakcióhatárokat alkalmazza a hazai tudomány, de gyakran figyelembe veszik a KACSINSZKIJ (1949) osztályozást is; a két módszer a frakciók közötti szemcseátmérőkben különbözik, az alapelv azonban mindkét esetben azonos. STEFANOVITS (1999) szerint a hazai talajok fizikai féleségük vagy mechanikai összetételük szerint a következőképp csoportosíthatók (összterületük figyelembevételével): homok (15%), homokos vályog (12%), vályog (47%), agyag (26%).

A talaj szilárd fázisát alkotó részecskék térbeli elhelyezkedését a talaj szerkezetének nevezik (BIRKÁS 2006). Más megfogalmazásban a talajban található szerves és szervetlen talajalkotók és csoportosulásukból létrejövő alaktól és nagyságtól függő elrendeződése értendő, amely során az aggregátumok önmaguktól vagy fizikai beavatkozás hatására az adott talajtípusra jellemző részekre és szemcsékre esnek szét. A talaj szerkezete hat a növények fejlődésére, mivel az aggregátumok illeszkedése kihatással van a növények gyökerezésére és a talaj hő- és vízgazdálkodására is (NYIRI et al., 1993).

A talaj térfogattömege az egységnyi térfogatú eredeti állapotú, abszolút száraz talaj tömege, amely a talaj tömörségi és lazultsági állapotának kifejezésére igen gyakran használt mérőszám. A térfogattömeg növekedhet, a pórusterfogata csökkenhet a talajban természetes úton vagy a művelési hibából eredő degradáció által (RÁTONYI 2006; BIRKÁS 1993). HAKANSON et al. (1997). Általánosabb megfogalmazása szerint a tömörödés az a folyamat, amely során a talaj háromfázisú rendszeréből mechanikai stressz hatására a levegő kiszorul, a térfogata csökken. Napjainkra többen megfogalmazták a talaj tömörödöttségének számszerű határait. EITZINGER (1991), OUWERKERK et al. (1994) és BIRKÁS (1995) alapján a talaj tömörödöttnek nevezhető, ha a térfogattömeg $1,6 \text{ g/cm}^3$ értéket eléri, valamint, ha a talaj penetrációs ellenállása meghaladja a 3 MPa-t.

A talajban a szerkezeti elemek közötti a méretbeli és alak béli különbségek a térbeli elrendezésük révén különböző nagyságú és formájú hézagokat képeznek, amelyek közösen alkotják a talaj pórusrendszerét. Ennek a rendszernek a térfogatát összporozitásnak nevezik, amely a talaj térfogatának arányában százalékosan kifejezhető. A porozitás meghatározza a növények gyökerezését, továbbá a talaj levegő-, hő-, és vízforgalmát is (RÁTONYI 2006; RASA et al., 2018).

A talaj levegőjének a növények oxigénellátásában van jelentős szerepe, mivel befolyásolja a talajbiológiai és kémiai folyamatokat. A talajok levegőgazdálkodását meghatározza a szerkezet, a póruster és a nedvességtartalom. Az egyik jellemző arányszám erre a tulajdonságra az ún. minimális levegőkapacitás, amely a szabadföldi vízkapacitásig benedvesített talaj levegőtartalmát jelöli. Mivel ekkor a növények számára a talajállapot

biológiai szempontból kritikusnak nevezhető, ezért törekedni kell a növények oxigén igényének kielégítésére, valamint a talaj és a légkör közötti légátjárhatóság fenntartására (RÁTONYI 2006; BURAGIENĚ et al., 2019; YANG et al., 2019).

A talaj hőgazdálkodásának ugyancsak fontos a szerepe. A talaj felmelegedése a napsugárzás hatására következik be, mértéke a talaj színének függvénye, mivel a sötétebb felszín hamarabb melegszik. A talajra jellemző, hogy átlagosan lefelé haladva két centiméterenként változik a rétegek hőmérséklete egészen 70-100 cm- mélységig, ahol nincs napi hőingás (SIPOS 1966). A talaj hőmérsékletétől függ a magasabb rendű növények csírázása, növekedése, fejlődése, a talajban megtalálható mikroorganizmusok aktivitása; a hőmérséklet befolyásolja továbbá a talajásványok mállását és a vízmozgást is (RÁTONYI 2006; BURAGIENĚ et al., 2019).

Adott termőhely vízgazdálkodási, hidrológiai viszonyai nagymértékben meghatározzák a talaj víz- hő- és tápanyagforgalmát, valamint a növények vízigényének kielégíthetőségét (VÁRALLYAY 2005c; GAO és SHAO 2015). A talaj vízgazdálkodási jellemzői továbbá hatással vannak a belvíz- és aszályérzékenységre is. A tömegmegmaradás elvén alapuló talajvízmérleg szerint egy egységnyi térfogatú talajhasáb nedvességtartalma nem növekedhet külső eredetű vízutánpótlás nélkül, de nem csökkenhet úgy, hogy ne távozna nedvesség a légkörbe vagy a mélyebb talajrétegekbe. Ennek értelmében a termőhely hidrológiai adottságai és az alkalmazott termesztési rendszerek közösen befolyásolják a talaj vízgazdálkodását. Ebből következik, hogy a talaj állagának romlását megelőző és megakadályozó beavatkozások javarészt a talaj vízháztartásának szabályozását célozzák (VÁRALLYAY 2005c; FARKAS et al. 2006; BURAGIENĚ et al., 2019).

2.2.2. Jó és a rossz talajállapot

A talaj minősége és állapota az egyik legfontosabb környezeti indikátor a víz és légminőség mellett. A víz- és levegőminőség alapvetően aszerint van megfogalmazva, hogy a szennyezettségük milyen káros hatással van az emberekre (CARTER et al., 1997). Ezzel szemben a talaj állapotának jellemzése esetében nem csak az esetleges szennyezettségére gondolunk, hanem a talaj által betöltött funkciók rendelkezésre állására is (DORAN és PARKIN 1994). VÁRALLYAY (2011) szerint a talaj multifunkciós természeti erőforrás, amely racionális és kímélő használata nélkül a fenntartható agrárkörnyezet nem valósítható meg. BÜNNEMANN et al. (2018) szerint a talajt a számos funkció betöltése miatt különböző módon lehet értékelni minőség tekintetében. Beszélhetünk a talaj termékenységéről, amely PATZEL et al. (2000) és MÄDER et al. (2002) értelmezésében a talaj azon tulajdonsága,

hogy képes alapvető tápanyagokat szolgáltatni a természetű növények számára. Lehet a talaj minőségét értelmezni a művelendő terület klimatikus és topográfiai milyensége, minősége tekintetében is, mint a legkorábbi értelmezések szerint (CARTER et al., 1997). MAUSEL (1971) nyomán sokáig a föld értékével magyarázták a talajminőséget, de a föld értéke azon fizikai talajtulajdonságokra volt értendő, amelyek nehezen változtak. Napjainkban főként a talaj produktivitását értjük a talaj minősége alatt (LARSON és PIERCE 1991).

KEMENESY (1964) a növénytermesztés számára kedvező talajminőséget a talaj kultúrállapotával vagy beéredettségével jellemzi, amely állapotban a talaj művelése a legkifizetődőbb a legkisebb károsítás és energiafelhasználás mellett. Ebben az állapotban a talaj jól művelhető, szerkezetes, hordképes, megfelelő a hő-, levegő- és nedvesség forgalma, a táp- és szervesanyag-ellátottsága, emellett a biológiai aktivitása is kedvező. Ezek a tényezők együttesen jellemzik a talaj fizikai és biológiai kondícióját (BIRKÁS et al., 2006). A felsorolt tényezők optimuma a termőhely és a mikroklíma függvényében változhat, ezen felül az optimumot a talajműveléssel pozitív vagy negatív irányba lehet elmozdítani (SCHULTE et al., 2014), aszerint, hogy az adott művelés talajállapot javító vagy rontó (BIRKÁS 1993). A művelésnek mindig a talajvédelem és a termesztett növény igényeinek figyelembevételével kell történnie (BIRKÁS 2010). A termesztett növényeink fajtól függően mutatnak bizonyos talajállapot-igényt. A növény igénye azt az ökológiai tényező együttest (termőhely, tápanyagszint, talaj- és nedvesség állapot stb.) jelenti, amelynél érvényre jutnak a fajban, fajtában vagy a hibridben jelenlévő tulajdonságok. Ezekre a talajtényezők közül a csírázástól a kezdeti fejlődésig a magágy, később tenyészdőben inkább a gyökérszóna állapota van hatással. (BIRKÁS, 2010; BIRKÁS et al., 2012; BÜNNEMAN et al., 2018)).

Rossz kultúrállapotban a talaj szerkezete a pusztulás jeleit mutatja, azaz porosodó vagy rögzödő, ülepedésre, tömörödéssé hajlamos, hordképessége és a művelhetősége romlik, a három fázis aránya – benne a levegőé is – kedvezőtlené válik, szervesanyag-tartalma pedig csökkenő tendenciát mutat (BIRKÁS et al., 2010a).

A talaj lazultsága akkor kedvező, ha a csírázást majd a gyökerezést összesajtolt tömör réteg nem korlátozza. Fontos még a lazult réteg mélysége, mert korlátozhatja vagy elősegítheti a növény fejlődését. Ha a mag kellően lazult rétegbe kerül, ahol a talajrészecskék megfelelő távolságra vannak egymástól, akkor a növény számára a jó gyökerezéssel összhangban kedvezővé válik a víz és a tápanyagok felvétele (KEMENESY 1964, HÅKANSSON et al., 2002; Birkás, 2010).

2.2.3. Az Edafon szerepe a talajállapot alakulásában

A talaj anyagának részecskéin, főként abszorbeált állapotban inaktív mikroorganizmusok (baktériumok, gombák stb.) találhatók. Ha ezek a mikróbák a talajban kapcsolatba kerülnek a számukra hasznosítható tápanyagokkal és energiaforrásokkal, akkor aktivizálódnak, szaporodni kezdenek. A fellendülés addig tart, amíg elegendő mennyiségű hasznosítható anyag van számukra jelen. E ciklus a talajban végtelenszer képes megisméltódni (SZABÓ 2008).

JUHÁSZ-NAGY (1986) szerint egy adott időpontban jelenlévő fajképviseletek, egy adott topográfiai térszektorban történő lehatárolása a bióta. SZABÓ (2008) a talaj élőlényekinek összességére, azaz a flórára, valamint a gerinctelen és gerinces faunára talajbiótaként hivatkozik. KEMENESY (1964) korábbi megfogalmazása szerint a talaj élővilágának összességét még Francé edafonnak nevezte el. Mindkét elnevezés használatos napjainkban. Az edafon együttes munkája és jelenléte azért fontos, mert a talaj biológia aktivitása meghatározza a talajban lévő szervesanyag-források feltáródását, amely folyamat során a növények számára könnyen felvehető tápanyagok keletkeznek (KEMENESY 1964, SZABÓ 2008). A talajélet folyamatai csak közvetett módon tüneti szinten (CO₂ kibocsátás, növényi fejlődés stb.) követhetők nyomon (KEMENESY, 1961). A talajélet rendszerének ökológiai és biokémiai bonyolultságát jól tükrözi, hogy Kemenesny kijelentése után több mint 40 évvel SZABÓ (2008) megállapítása szerint jelenleg nem áll módunkban olyan finom módszereket alkalmazni, amelyek képesek lennének a biológiailag kontrolált biokémiai aktivitásokat az ellenőrizetlenektől elválasztani. Ezért csak következtetni lehet (bár nagy pontossággal) az edafon állapotára. A talajfauna képviselői közé tartoznak az állati egysejtűek, az amőbák, a fonál és televényférgek, a földigiliszták, bizonyos puhatestűek, az ízeltlábúak, továbbá a rágcsálók és más nagy testű állatok is (FÜLEKY 2010).

2.2.4. Földigilisztá-tevékenység

A talajfauna alkotói közül jelentősek a földigilisztá-félék (*Lumbricidae*) mind a talajra gyakorolt hatásuk, mind indikátor szerepük okán. Számos talajtulajdonságra hatással vannak, többek közt a tápanyagtartalomra, a szerkezetre és a szervesanyag képző folyamatok dinamikájára (EDWARDS 2004). A földigilisztá-tevékenységet befolyásolja a talaj nedvességtartalma, textúrája, a szervesanyag-tartalom és a pH (CURRY 2004).

A földigiliszták hasznosságára DARWIN (1840) és SCHULTZ-LUPITZ (1891) is utaltak. JONES et al. (1994) az ökoszisztémák mérnökeinek nevezi őket. A földigiliszták fontossága abban rejlik, hogy tevékenységük során javítják a talaj porozitását, szerkezetét, közvetve

elősegítik a humuszképződést, ezáltal jelentős szerepük van a szervesanyag delokalizációjában (KETTERINGS et al., 1997; BOSSUYT et al., 2004). A folyamat lényege a biológiailag degradálható anyagok és szerves hulladékok átalakítása emésztés során a humuszosodást segítő szervesanyagokban, a növények számára is felvehető tápanyagokban gazdag vermikomposztnak is nevezett gilisztakomposztá (JANSIRANI et al., 2012). E gilisztakomposzt szerkezetileg stabilabb a talajaggregátumoknál és a szerves és szervesetlen anyagokon kívül tartalmaz még többek közt mikroorganizmusokat, hormonokat és enzimeket is, amelyek a giliszták emésztése során fontos szerepet játszanak (TERSIC et al., 2012).

A függőleges földgiliszta-járatok továbbá mérsékelhetik a felszíni lefolyást, mivel javítják a talajba történő vízbeszivárgás lehetőségét, ezért tevékenységüknek eróziót csökkentő szerepe is van (LÁSZLÓ 2007).

A földgiliszták életterére hatással vannak a különböző talajművelési rendszerek (VAN CAPELLE et al., 2012), a művelés intenzitása (CHAN 2001, CURRY 2004), a talaj lazultsága (BIRKÁS et al., 2010b), a talaj szervesanyag-tartalmának csökkenése (HENDRIX et al., 1992), a talaj víz- és hőgazdálkodása (CURRY 2004), valamint a művelés mechanikai befolyása az életterükre (LEE 1985).

2.3. A talajokat érő gazdálkodási eredetű hatások

A növénytermesztés alapvetően két fő irányvonalat követhet. A minőségi vagy a mennyiségi termelést. A racionális talajhasználat a termelési rendszeren belül a talajfunkciók biztosítása révén külön figyelmet érdemel (VÁRALLYAY 2011). A talaj védelme nem csak gazdasági, de környezetvédelmi érdek is lenne, bár jelenleg még hazánkban kissé elmarad a megvalósulása.

2.3.1. A szántóföldi talajhasználat és a talajművelés fejlődése

A kutatók, tudósok, gondolkodók szinte a talajművelés kezdete óta mindig az adott kornak megfelelő értékrendek alapján fogalmazzák meg a művelés céljait, szükségességét és helyes menetét. Ennek legjobb bizonyítéka például a megannyi fennmaradt ó- és középkori írásos emlék, többek közt a talajműveléssel és a mezőgazdasági termeléssel is foglalkozó mű CATO, COLUMELLA és PLINIUS tollából.

A modern kor elvárásainak megfelelő talajművelési kutatások és fejlesztések gyökerei a XIX. században kezdődtek. Az aktuális kor tudományos és technikai szintjeit végig követhetjük a nemzetközi szakirodalom főbb lépcsőfokainak áttekintésével. Az első acél ekét feltételezések szerint John Lane fejlesztette ki 1833-ban, amelyet az 1840-es évektől nagyüzemi

körülmények között kezdtek gyártani és egyre szélesebb körben alkalmazni; ezt követte a tárcsa kifejlesztése, amelyet az 1860-1880 közötti időszakban fejlesztettek ki. Ehhez képest az első hatékony szántóföldi kultivátor csak 1933-ban jelent meg Fred Hoeme és W.T. Graham mérnökök munkája nyomán (MAGAE 2005; [http3](#)). Az új eszközök megjelenésével párhuzamosan a nemzetközi kutatókat egyre inkább foglalkoztatta a talajművelés helyes gyakorlatának kifejlesztése, a talaj védelmének előtérbe helyezése. A legnagyobb veszélyt akkoriban az Egyesült Államokban az erózióban és a deflációban látták. GUSTAFSON (1937) már ekkor felhívta a figyelmet a talaj szervesanyag-tartalmának védelmére, a vetésforgó fontosságára és a természetes talajtakarás előnyeire, mint az erózió elleni védekezés egyik lehetséges alappilléreire. BENNETT (1939) elsők között mutatott rá a talajklíma és a talajművelés káros hatásainak összefüggéseire és azok talajtulajdonságokra gyakorolt hatásaira. COX és JACKSON (1948) úgy írtak a talaj degradációról, mint egyre súlyosabb tényezőről. Az ő munkájukat is felhasználva STALLINGS (1957) arról értekezett, hogy a mulcshagyó művelés a klimatikus erózió egyik legjobb talajvédelmi ellenszere. Ennek alapján meg is fogalmazott és tovább fejlesztett egy klaszter rendszert, amely a szántóföldi területek hasznosítását sorolja be több kategóriába. Ezt a rendszert mai napig is használják a világ bizonyos országaiban annak érdekében, hogy meghatározzák mikor és mi természetű az adott területén az erózió és a talajpusztítás kivédése érdekében. Párhuzamosan az ő munkájukkal FAULKNER (1943) kidolgozta, majd publikációjában közzé is tette a direktvetéses gazdálkodás alapjait, amely azonban csak az 1970-es évek után kezdett el terjedni a világon. A direktvetés alaposan átdolgozott és megújított módszere az 1990-es évek elején az Egyesült Államokban kimunkált ún. sávos művelés (strip till), amely kutatása és termesztéstechnológiai értékelése még napjainkban is górcső alatt van. Ebben az esetben a direktvetéshez képest, csak bizonyos sávokat bolygatnak az alapművelés folyamán, majd a bolygatott sávokba vetnek (MAGEE 2005; [http2](#)). Ehhez azonban technikailag rendkívül fejlett géppark kell. Nem szabad ezt a módszert összetéveszteni a GUSTAFSON (1937) által korábban leírt strip cropping-al amely során a lejtőszögre merőlegesen széles sávokba más-más növényeket termesztettek felváltva az erózió megakadályozása érdekében. Ennek a módszernek az adaptált változata található meg számos ázsiai országban teraszos művelés formájában.

A hazai viszonyok között az 1800-as évektől úgy tartottak, a talajművelés célja a kedvező talajállapot kialakítása a növénytermesztés igényeinek és céljainak megfelelően (NAGYVÁTHY, 1821). PETHE (1805) írásában az országosan elterjedt szántás hátrányaira, folytonos alkalmazásának hátrányaira figyelmeztetett. Több mint egy évszázadra rá

GYÁRFÁS (1928) is hasonlóan vélekedett, ellenezte a túlzott, több menetes talajművelést: véleménye szerint a művelés minőségét főként annak időzítése befolyásolja. MANNINGER (1946) sajátos rendszert dolgozott ki az őszi kalászosok művelésére száraz nyári időszakokban. A szántásnál sokkal hatásosabbnak tartotta őszi kalászosoknál a talaj beéredését. Fontos szerepet szánt a felszínre hullott magvak kikelesztésére, a talaj hengerezésére. Úgy tapasztalta, a tárcsázás a kikelesztés révén jó gyomirtó, ellenben a szántás nem, mivel a magvak a barázda aljára kerülnek és ott évekig életképesek maradnak. Manninger megfogalmazta a talajművelés minőségi mutatóját az ún. beéredettséget, amely (élettel teli) állapot összhangban van BALLENGER (1921) megállapításával, amely szerint a földigiliszta tevékenység javítja a talaj állapotát. Véleményük szerint a szántás talajbiológiai szempontból sokszor szükséges rossz, mivel durva beavatkozás a talaj életébe. POSGAY (1968) szerint az eke nélküli talaj-előkészítés esetén a talajnedvesség különösen ősszel a talaj felső 20 cm rétegében jóval nagyobb, mint az ekével előkészített talaj esetében, ellenben a talajnedvesség-különbség tavasszal fordított helyzetet teremt, amelyet a szántott talaj nagyobb nedvesség felvételével magyarázott. Abban mindannyian egyet értek, hogy a szerves trágya leforgatására a legjobb eszköz az eke. SIPOS (1962) a növények életfeltételeit kielégítő talajművelést szorgalmazott, amelyet KEMENESY (1972) kiegészített a talajérettség fogalmával, továbbá a talaj ősállapotának vagy ahhoz közeli állapot megteremtésével. Ezekhez képest BIRKÁS (1993) a talaj szerkezetének és a felszínének védelmét szorgalmazta, mivel egyre nagyobb gondot jelent hazánkban is az erózió és a defláció. E gondolkodás ANTAL et al. (1966) munkásságában a homoktalajokon történő növénytermesztés és a homoktalajok megkötése témákban jelent meg. Mindezek egybe hangzanak GUSTAFSON (1937) óceánon túli törekvéseivel is, csak modernebb felfogásban. LÁNG és CSETE (1992) célirányosabban fogalmazott, miszerint az intenzív műtrágya- és energiafelhasználás, valamint a nagy menetszám miatt a hagyományos intenzív termesztési rendszer nem csak drágának, de környezet és talajvédelmi szempontból aggályosnak nevezhető, mivel felgyorsítja talajdegradációs folyamatokat.

Az ezredforduló táján felkapott kutatási téma lett a fenntarthatóság, ezzel párhuzamosan a fenntartható és energiahatékony talajművelés. A témakört számos hazai és regionális szerző is feldolgozta többek közt BIRKÁS (1995), DEMO (2001), SCHMIDT (2001). Kétségtelen, hogy hazánkban is csökkent a művelések menetszáma és fontos szerepet kapott a talajkímélő eljárások alkalmazása. A fenntarthatóság témaköre az ezredforduló után fokozatosan egészült ki, sőt idővel annak számos elemét át is vette a klímakár-csökkentő talajművelés kutatása és gyakorlata. Eme átalakulás adja jelen dolgozat alapfelvetését is. A klímavédő talajművelés

elterjesztése érdekében számos publikáció (BIRKÁS et al. 2010a; KALMÁR et al., 2013; BOTTLIK et al., 2014) és PhD dolgozat (BOTTLIK 2016; FÖLDESI 2013; KOVÁCS 2014; KALMÁR 2016; LÁSZLÓ 2007) született országunkban.

Összességében elmondható, hogy a hazai kutatási trendek követték vagy párhuzamban voltak a nemzetközi kutatási irányzatokkal. A folyamatos fejlődés és technológiai újítások miatt a hazai talajművelési kutatások és gyakorlati irányzatok négy főbb időszakra bonthatók BIRKÁS et al. (2017) alapján az időszakok talajművelési céljait figyelembe véve:

- 1820 – 1930: A növénytermesztés igényeinek kielégítése;
- 1920 – 1990: A növény igényeinek kielégítése;
- 1980 – 2005: Talajvédelem és fenntarthatóság;
- 1995– napjainkig: Klímakár csökkentés, kármegelőzés.

Az időszakoknak nincsenek éles dátumhoz köthető határaik, köztük átfedések vannak, valamint időnként bizonyos felvetések újra visszatérnek napjainkig is a tudományos viták során (BIRKÁS et al., 2017).

2.3.2. *A talaj szerkezetét és nedvességmegtartó-képességet befolyásoló tényezők*

A hazai talajművelési rendszerek napjainkban két csoportra bonthatók, ezek a klímakár csökkentők és a klímakár súlyosbítók. A klímakárokat emberi oldalról az elrontott, a talajhoz és a körülményekhez alkalmatlan művelés megválasztása, természeti oldalról az extrém mennyiségű csapadék, a hosszú száraz periódusok, a hő- és a fagy-stressz idézik elő együttesen (BIRKÁS 2011). A szakszerűtlen talajművelés hatására csökken a talaj felső lazult rétegének vastagsága, amelyet súlyosbít a lazult réteg alatti általában eke vagy tárcsa által okozott tömörödött réteg. E tipikus hiba a 2010. csapadékos évben a hazai talajok felén vízpangást okozott (a másik felén természetes eredetű belvizek léptek fel). A felszíni vízállások befolyásolták a talajok szerkezetét, ülepedését, a szervesanyag-feltáródását, és közvetve termés veszteségeket (BIRKÁS et al., 2011). A művelés talajszerkezetre gyakorolt hatását CSORBA et al. (2011) is értékelték, amely szerint vizsgálataik alapján a művelési módok közül a kultivátoros művelés idézte elő a legstabilabb szerkezetet, a művelés nélküli technológia mélységeként állandó, de kisebb makropórus-tartományt, míg a szántás mélységeként változó pórustartományt eredményezett. A pórustartományok különbségei egyben a talaj víz- és levegőforgalmi változásait jelezték a művelési módok tükrében.

A talajok vízvesztő és szerkezet romboló művelése száraz nyári időszakban akár 20–25%-kal növelheti a por frakció arányát a morzsás szerkezet rovására. Habár a 26–30 cm mélységben végzett szántás képes feltörni és lazítani a 10–15 cm mélységben lévő tárcsatalpat

és tömörödött rétegeket, szántás nyirkos talajon ugyanúgy növeli az eketalp vastagságát, akár 4-5 centiméterrel is. A tömörödött rétegeken a növények gyökerei nehezen vagy egyáltalán nem képesek áthatolni (BIRKÁS et al., 2010b). A folyamatos szántás és főleg a mélyszántás negatív hatásaira CSERHÁTI (1891) is felhívta a figyelmet, továbbá azt vallotta, hogy nem a folyamatos mélyítő művelés a megoldás a termésbiztonság megőrzésére és a talaj szerkezet megővására, hanem a munkák időbeni elvégzése.

A meglévő és újonnan okozott talajkárokat ellensúlyozni lehet a talaj szervesanyag tartalmának megőrzésével, visszapótlásával is, mivel a szervesanyag jól tárolja a nedvességet, ezen felül csökkenti a talaj tömörödési hajlamát (GAO et al., 2012). A szervesanyag megőrzése gazdálkodási és környezetvédelmi szempontból is fontos, mivel a talaj mikrobiológiai tevékenységének tudatos szabályozásával előnyösen befolyásolhatók a humuszgyarapító- és bontó folyamatok (BIRKÁS 2002).

Mivel a talaj kötöttsége megszabja a művelhetőségét és a műveléshez szükséges energia igényét, ennél fogva hazánkban megközelítőleg a talajaink 60%-án könnyebben 40%-án pedig nehezebben lehet eleget tenni a művelési kívánalmaknak. Éppen ezért a befektetett energia csökkentése és a művelés minőségének javítása érdekében a kötött talajokat csak alkalmas nedvességtartalom mellett szabadna művelni. Az optimális művelési minőség elérése kötött talajokon több munkát igényel, azonban a kevésbé kötött talajok esetében is figyelni kell a művelt állapot tartós fenntartására, valamint a degradációs folyamatok megakadályozására (STEFANOVITS et al. 1999; BIRKÁS et al 2010a; SCHMIDT 2011).

A talajdegradációs folyamatok közül a fizikai az, amely a főként sújtja a hazai talajokat. E folyamatok a talaj tömörödését és szerkezetének leromlását eredményezik, ugyanakkor ezeket a károkat a legnehezebb megelőzni (VÁRALLYAY 1999).

A tömörödés során a talaj háromfázisú rendszeréből kiszorul a levegő, ezáltal a térfogata csökken, a térfogattömege nő, a makropórusok aránya és az összporoztság is csökken. (HAKANSSON és VOORHEES 1997). A tömörödés folyamata történhet természetes (ülepedés, lemosódás) vagy mesterséges (művelési mechanikai stressz) úton (BIRKÁS et al., 1996). A természetes tömörödést a szerves és szervetlen kolloidok hiánya vagy alacsony aránya okozza (SZABOLCS és VÁRALLYAY, 1979). A mesterséges tömörödés azonban a szakszerűtlen emberi beavatkozások miatt alakul ki, a vetésforgó elmaradása, a kedvezőtlen nedvességi állapotú és az azonos mélységben történő rendszeres művelés, továbbá a talajállapot javító mélyművelés elhagyása okán (BIRKÁS et al., 1992).

A tömörödés megléte számos jelből észlelhető. Az egyik a felszínen is észrevehető vízpangás, amely később eliszapolódáshoz, a felszín kergesedéséhez és a talajnedvesség forgalmának

megváltozásához vezet (BIRKÁS 2002). A vízpangás kialakulásának oka a gravitációs pórusok mennyiségének, a talaj vízbefogadó és vízvezető képességének csökkenése. A tömörödött talajra jellemző a lemezes szerkezet, amely azonban kihatással van a talaj gáztranszportjára is; a talaj levegőtlené válik, az oxigén hiánya gátat szab az aerob folyamatoknak. A talajban a levegő hiánya gátolja a talómaradványok feltáródását, továbbá a tömörödés nehezíti a növények víz- és tápanyagfelvételét, valamint a gyökereik növekedését is (LIPIEC et al., 2003). A gyökérnövekedés tömör talajokban olyan mértékben lehetetlenné válhat, hogy a növények gyökerei a tömör réteg fölött vízszintes irányban terjeszkednek. A gyenge gyökerezés miatt a növények érzékenyebbé válnak az erős széllekedésekre és az erózióra (BIRKÁS 2002). A tömörödés további hatása a talaj megmunkálhatóságának romlása, mivel az összegyűrt rétegek felszaggatásához több energiára van szükség. A tömör rétegek áttörése után keletkező rögök aprítása és elmunkálása is újabb menetszámot igényelhet (BIRKÁS 2010).

2.3.4. Por és kéregképződési folyamatok

Az okszerűtlen talajművelés másik jellemzője a rögösödés mellett a porképződés. Az Atterberg-féle osztályozás szerint a por frakció határa a $< 0,02$ mm, a Kacsinszki-féle osztályozás szerint $< 0,05$ mm szemcseméret. Ideális szerkezetű az a talaj lenne, amelynek legalább 80%-át a morzsafrakcióba (0,25 – 10 mm) tartozó aggregátumok képeznék (STEFANOVITS 1992). A talaj elporosodása a száraz időben végzett művelések, és a hosszú időn át ható mechanikai és természetes ráhatások eredménye. A port száraz időben a szél elhordhatja a felszínről, a növényállományt porverés érheti. A por csapadékos időben a lejtőn lefelé mozgó vízzel sodródik, emellett a talaj mélyebb rétegeibe is lemosódik. A por eliszapolódik, száradáskor pedig kérgesedik. A talajba mosódott por pedig növeli a talaj tömörödésének mértékét (BIRKÁS 2007; BIRKÁS 2011; SCHMIDT 2011). Fontos megemlíteni, hogy a talaj elporosodása közvetlenül nem csak a talaj állapotára és a növénytermesztésre van hatással. A ≤ 10 μm (PM_{10}) alatti finom szemcsék légszennyező anyagoknak is tekintendők, amelyek növelik a levegőben a szálló por koncentrációját (SHARAT és AUVERMANN 2014). KISS-KOVÁCS (2015) szerint jelenleg hazánkban az összes részecske kibocsátás (TSP) nagyjából háromnegyede mezőgazdasági eredetű, fő forrása zömmel a szántóföldi növénytermesztés, ezen belül is főleg a talajbolygatás és a betakarítás.

A talajok kéregképződése összetett folyamat, amelyben három fő formája különböztethető meg. Léteznek ásványi, biológiai és kémiai eredetű kéregek. Az ásványi kéregket további három csoportba lehet sorolni:

- Szerkezeti kéreg (*structural crust*) akkor jön létre, ha a talaj felszínét vízcsepp általi mechanikai hatás éri eső vagy öntözés miatt (VAN DER WATT és VALENTIN 1992; BÜHMANN et al., 1996).
- Lerakódási vagy ülepedési kéreg (*depositional*) olyan esetekben jön létre, amikor a területen vízállás során a talajalkotók túlnyomóan kémiai mállása okán a lemosott vagy kioldott finom részecskék a talaj felszínére leülepednek, majd a víz elpárolog vagy elszivárog, ezért az üledékréteg kiszárad és megkeményedik (VAN DER WATT és VALENTIN 1992).
- Eróziós vagy duzzadási (*slaking*) kéreg főként erodálódott felszínen jön létre, amikor az altalajban lévő agyagos finomszemcsés rétegek nedvességgel érintkeznek, az agyagrészek megduzzadnak, a folyamat során a levegőt a pórusokból kiszorul. E réteg kiszáradása után rendkívül kemény felszíni réteg jön létre, amely szinte feltörhetetlen (GERBER és HARMSE 1987).

A biológiai eredetű talajkéreg képződés MENON és munkatársai (2011) megfogalmazásában a talajrészecskék és a feltalajban élő cianobaktériumok, zöld algák, gombák, zuzmók és mohák közötti rendkívül sajátos kapcsolat révén alakul ki. Ezen típusú kéregek tulajdonságait az aktuálisan domináns faj határozza meg (MAGER és THOMAS 2011). Száraz területeken főként a cianobaktériumok jelenléte jellemző ezekben kéregekben (DOUGILL et al., 2004), míg nedves öntözött területeken inkább a mohák és a gombák dominálnak (LOXTON et al., 1987; VAN DER WATT és CLAASSENS 1990).

A kémiai úton képződött kéregket sok esetben sókéregnek is nevezik. Ebben az esetben a talaj felszínén a sókiválás okoz kérgesedést. A sókiválás történhet szikesedési folyamatok, tartós vízállás vagy nagy sótartalmú területek lecsapolása esetén (LAKER et al., 2019). Hazánkban ehhez hasonló kérges felszín a Hortobágy környékén fordulhat elő.

A kéregtípusok nem minden esetben különíthetők el egy-egy területen, sok esetben a különböző típusú kéreg együttesen akár egymásra halmozódva is előfordulhatnak a talajok felszínén (LAKER et al., 2019).

A talaj felszínén történő kéregképződés történhet természetes vagy gazdálkodási eredetű folyamatok eredményeként. BOTTLIK és munkatársai (2014) alapján adott termőhelyen megkülönböztethető

- <5 mm: enyhe
- 6-15 mm: jól látható
- 16-25 mm: kockázatos
- 26-35 mm: súlyos
- >35 mm: nagyon súlyos

kéregvastagság. A keletkezett kéreg minden esetben csökkenteni képes – típusa és vastagságának függvényében – a csapadék talajba szivárgását, rontja a talaj és a gyökerek légzését, emellett csökkenti a növények csírázókéességét is.

2.3.5. A talajtakarás hatása a talajra

A szervesanyag megőrzésében elsődleges feladat az adott körülményekhez igazított talajművelési rendszer megválasztása. A másik szervesanyag megőrzési módszer a tarlómaradványok gondozása tarlógazdálkodás vagy mulcsművelés keretein belül. Kedvező esetben visszapótolható az elveszett szervesanyag-mennyiség egy része, ugyanakkor növelhető a termés (GILLER et al., 2009; KNOWLER és BRADSHAW 2007). A talajtakarás számos természetes (szalma, szármaradvány, forgács, kőzúzalék stb.) és mesterséges (geotextil, fólia) anyaggal történhet (CHAKRABORTY et al., 2010; MO et al., 2016; WANG et al., 2019). A mulcsművelés és a talajtakarás előnye összetett. A legfontosabbak a talaj nedvesség-veszteségének csökkentése (BIRKÁS és SZABÓ 1992; RAMALAN és NWOKEOCHA 2000; STIPESEVIC 2013), a feltalaj hőgazdálkodásának javítása, a csírázás és a korai növényfejlődés elősegítése (MOODY et al., 1963, LAL 1974, SICZEK et al., 2015), ezen felül a talaj termékenységének és minőségének javítása (WARDLE et al, 1999; BALOTA et al., 2014), a talaj szénmérlegének fenntartása, a mikroorganizmusok enzimatis aktivitásának serkentése (BATINO et al., 2007; NAAB et al., 2015; DENG és TABATABAI 1997), a gyomosodás csökkentése (CAMPIGLIA et al., 2015; JABRAN et al., 2015; KENDE et al., 2017), továbbá a csapadék talajba szivárgásának elősegítése és a talajszerkezet védelme ADEKALU et al., 2007; JORDÁN et al., 2010; KALMÁR et al., 2013). KALMÁR és munkatársai (2013) alapján a mulcshagyásos művelés előnyei és a talajnedvesség megőrzése 55-65% talajborítottságnál érvényesül a legjobban. A talaj takarása önmagában is képes a felszíni kéregképződés mértékét csökkenteni. A talajtakarás összetett hatásait fokozhatja továbbá a gazdálkodó folyamatos, alkalmazkodó, klímakár csökkentő művelése is. (SIPOS 1966; BIRKÁS et al., 2010b; KALMÁR 2016). KEMENESY (1956) úgy vélte, hogy a talajtakarás elsősorban biológiailag aktív talajokon alkalmazható. A felszín védelme azonban a kedvezőtlen állapotú talajokon életére is kedvező hatással van (találjon szerzőt). Megjegyzendő, a szalma cellulóz vagy energetikai felhasználása a növénytermesztés számára

veszteség. Amennyiben mód van rá alomként felhasználva majd szervesstrágyaként kijuttatva a talaj szervesanyagának pótlására hasznosítható (ANTAL 2000; COOK et al., 2006).

2.3.6. Talajművelés és növényvédelem

A talajművelésnek és a tarlógazdálkodásnak vannak növényvédelmi vonatkozásai is, bár tudományos és szakmai szempontból mai napig vita tárgyát képezik. A talaj gyommagbank folyamatosan gondot okoz a szántóföldi növénytermesztésben. A gyomnövények versengenek a kultúrnövénnyel a vízért, a tápanyagért; árnyékolnak, csökkentik a talaj hőmérsékletét, toxikus anyagokat termelnek és elősegítők, közvetítők a vírusos és gombás betegségeknek, ezért az ellenük való védekezés elengedhetetlen. A gyomnövények ellen általában a vegyszeres gyomirtást alkalmazzák a gazdálkodók presowing, preemergens vagy postemergens módszerekkel. A modernebb szemlélet alapján azonban az integrált növényvédelemben a mechanikai gyomirtás is jelentős szerepet kap. Ennek első lépése a talajművelés, mivel a különféle művelési rendszerek más-más ökológiai viszonyokat teremtenek, tehát elősegítik vagy visszaszorítják a gyomok elterjedését (KOVÁCS 1996). Állományban alkalmazható mechanikai módszer például a sorközművelés, a fogasolás vagy a gyomfésű alkalmazása. Megjegyzendő, hogy a tarlómaradványok felszínen hagyása vagy sekély bedolgozása csökkentheti a gyomosodást az árnyékoló hatás révén (GRUBER et al., 2012). Hasonlóan jó gyomcsökkentés érhető el a tarlómaradványok felszínen hagyásával a direktvetéses gazdálkodásban, emellett eredményes lehet a gyomok visszaszorítása forgatás nélküli, alkalmazkodó talajműveléssel is (KENDE et al., 2017).

A növényi patogének nagy károkat okozhatnak a termelésben és az élelmiszer-ellátásban, egyrészt a termés kiesés, másrészt pedig egyes változataik toxin szennyezése révén. A legfontosabb szántóföldi növényeket többek között károsítja a torgomba (*Ophiobolus graminis*), a lisztharmat (*Blumeria graminis* sp.), a pirenofórás betegség (*Pyrenophora* sp.), a fehérpenész (*Sclerotinia sclerotium*) vagy a szürkepenész (*Bothrytis cinerea*) rothadás, a peronoszpóra és a fuzáriózis (*Fusarium* sp.). Ellenünk agrotechnikai szempontból leghatékonyabban csak kémiai módszerekkel védekezhetünk. Az integrált szemléletben nem a vegyszerek felhasználása az elsődleges megoldás. Ajánlott módszer például az elővetemény okszerű megválasztása. Fontos a megfelelő vetésforgó alkalmazása és a talajművelés idejének és módjának a megválasztása, valamint az ajánlott állománysűrűség betartása. Az optimális tápanyag utánpótlás és a gyors kelést segítő magágy-készítés ugyancsak megelőzési módszerek. Kedvezőtlen esetben a tarlómaradványok és az árvakelések mély alászántása is

alkalmazható (KOVÁCS, 1996; BÁN, 2006; ÁBRAHÁM et al., 2011), ugyanakkor számítani lehet a gyommagvak életképességének tartós megmaradására is.

A rovar kártevők nagy része a körülményekhez adaptált agrotechnikával és kémiai növényvédelemmel kárkűszőb alatt tartható. A napjainkban egyre terjedő kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*) külön figyelmet igényel. A rovar lárvája a kukorica címerétől lefelé halad a levelek lemezén „ablakos” foltokat rág, majd a szárában átrágva magát az internóduszokon, a nóduszokban telel át. A tévhitekkel ellentétben nem csak a felső ízekben, de az egész növényben megtalálható (SURÁNYI 1957; JENSER et al., 1998). KADOCSA (1941) több mint 70 évvel ezelőtt rámutatott, hogy a kukorica szára rendkívül nagy odafigyelést igényel, ugyanis a molylárvák a szárban a föld felett vagy a földben telelnek át. Véleménye szerint a szár megfelelő aprítása, takarmánynak felhasználása, esetleg elégetése alkalmas megoldás lehet a védekezésre. Ezt a módszert javasolta azzal szemben is, mint amit 1955-ben az amerikai gyakorlat mutatott, ahol DDT-vel poroztak a molylárvák ellen (a szer 1962 óta be van tiltva Európában, JENSER et al., 1998). Napjainkban a kukorica szármadaradványának minél kisebbre aprítása, lehet a megoldás, ha a szár részek az esőzések hatására átnedvesednek, a molylárvák elpusztulnak (BIRKÁS 2010).

A másik jelentős kártevő hazánkban az elmúlt években egyre inkább elterjedő és figyelmet igénylő kártevő az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera*). A kártevő elleni védekezés alapja a vetésváltás betartása, a nem csak az adott területen gazdálkodó, hanem a környező gazdák által is betartott technológiai fegyelem és okszerű tarlóápolás. A kizöldült tarlóra áttelepült imágók és azok tojásai ugyanis fertőznek akár következő évben is, ezért fontos a helyes tarlóápolás (TÓTH 2006). A 2013 – 2014. évi idényben rendkívül nagy károkat okozó mezei pocok (*Microtus arvalis*) gradációjának kialakulása a 2013. évi enyhetélnek is betudható. A védekezés ellene a szakirodalmi adatok alapján, az agrotechnikai eszközök közül a mélyszántással, a tarlóhántással, szeges hengerezéssel és mechanikai csapdák kihelyezésével lehetséges (JENSER et al. 1998). Kémiai védekezésre pedig a Redentin 75 RB volt egyedül alkalmazható eseti engedéllyel 2014-ben.

2.5. A talajvédelem jogszabályi háttere

A KSH adatai alapján hazánk 9,3 millió hektárnyi területének a hasznosítása 2018-ban a következőkben alakult művelési áganként:

1. táblázat: Magyarország területének használata művelési áganként (ezer ha). Forrás: KSH (2018)

Művelési ág	Terület
Szántó	4 333,7
Konyhakert	45,4
Gyümölcsös	94,0
Szőlő	71,5
Gyep	799,3
Erdő	1 939,7
Nádas	35,5
Halastó	36,6
Művelés alól kivet terület	1 947,8
Összesen	9 303,4

A hasznosítás szerint jelen dolgozat és kutatás szempontjából a szántóterületek a legfontosabbak, mivel ezeken a területeken a legintenzívebbek a talajokat érő biotikus és abiotikus hatások. Ezen intenzivitás végett különös figyelmet kell fordítani a talajok védelmére, amelyet hazánkban nem csak az egyre jobban elterjedő „jó gazda szemlélet”, és az oktatás hivatott elérni, hanem a törvényhozás is.

2.5.1. Európai Unió közösségi szabályozás

A közösségi politikában a környezeti szempontok integrálását az 1987-es Egységes Európa Okmány (EEO), az Európai Unióról szóló (EUSZ) 1992-es Maastrichti szerződés, valamint az 1997-ben deklarált Amszterdami szerződés együttesen valósította meg.

A 2006. évig nem volt egységes talajvédelmi koncepció az Unióban, de az év folyamán az Európai Tanács elfogadta a Bizottság *talajvédelemről szóló tematikus stratégiáját* (COM (2006) 231). Célja a talajok funkciójának és fenntartható használatának megőrzése, valamint a talajromlás megelőzése. A stratégia elfogadást követően az Európa Bizottság javaslatot tett egy közös talajvédelmi keretirányelv létrehozására is (COM(2006) 232). Bár a keretirányelvnek a jogi alapot az Európai Közösséget létrehozó 1957-es EK- (Római) szerződés 175. cikkének (1) bekezdése is megteremtette, valamint az Európai Bizottság és az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC) is szorgalmazta, a mai napig nem jutott az Európai Közösség konszenzusra a pontos irányelveket illetően.

2.5.2. Hazai jogalapok

Magyarországon a talajvédelem a fentebb írtak ellenére aktív és szigorú jogi szabályzás alá esik. A termőföldre, mint nemzeti értékre és védelmére *Magyarország Alaptörvénye* is felhívja a figyelmet, a *P Cikke* szabályozza, hogy a termőföld védelme, megőrzése és fenntartása az állam és minden magyar állampolgár kötelessége. Az alaptörvény rendelkezéseit a jogállamiság megteremtése és fenntartása érdekében további törvények egészítik ki, amelyek megteremtik a jogalapot a hatóságok számára a tevékenységek szabályozására. Az egyik legfontosabb ilyen jogszabály az Alaptörvény után a *Termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvény*, amely egészében szabályozza a hasznosíthatóságot, valamint több rendelkezése magát a talaj védelmét szolgálja. A 35. § kötelezi a földhasználókat a talajvédő gazdálkodásra, a 36. § (1) pedig specifikálja a védelem módját, különösen az ab) pontjában, ahol a megfogalmazás értelmében az erózióval veszélyeztetett területeken a talaj tömörödésének megakadályozásával és szerkezetességének megóvásával a gazdálkodó köteles elősegíteni a csapadékvíz talajba jutását. Ezt nyomatékosítja a 40. §, amely értelmében a káros vízbőség megakadályozása érdekében a talajtömörödést kötelező megelőzni és/vagy megszüntetni. A törvény 39. § és 42. § kimondja, hogy a földhasználónak a természetdőlő növény igényeinek megfelelő, ám környezetkímélő tápanyag-gazdálkodást kell folytatnia, amelyet kiegészítve a talajkímélő művelési módokkal, a vetésváltással, a tarlómaradványok hasznosításával és szervesanyagok kijuttatásával gondoskodnia kell a talaj szervesanyag-tartalmának megőrzéséről. Ezen felül bizonyos talajhibák kezelését, mint például a savanyodás és a szikesedést is szabályokhoz köti a törvény (37. § és 38. §), továbbá ezek javítása a 49. § értelmében talajvédelmi szakhatósági engedélyhez kötött. A jogszabályok be nem tartása esetén a talajvédelmi hatóság 54. § (a) értelmében elrendelheti a jogsértő tevékenység és a jogellenes állapot megszüntetését.

A jogellenes állapotok megszüntetését segíti továbbá a *termőföld tulajdonjogának megszerzését vagy használatát korlátozó jogszabályi rendelkezések kijátszására irányuló jogügyletek feltárásáról és megakadályozásáról 2014. évi VII. törvény* is, amely a jogszabályi rendelkezések kijátszását célzó múltbeli jogügyletek feltárását is lehetővé teszi.

A hatályos *Polgári Törvénykönyv (2013. évi V. törvény)* 6:350. § (2) nem csak a termőföld tulajdonosát, hanem a haszonbérletjét is kötelezi a föld rendeltetésszerű megművelésére és a termőképességének fenntartására.

Az *élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvény* ezen felül az élelmiszerlánc hatósági felügyelete által szabályozza a termőföld védelméről szóló törvényben nem szabályozott, élelmiszer-biztonsággal összefüggő tevékenységeket, mint

például a növénytermesztést és a növényi és állati eredetű melléktermékek kezelését felhasználását.

A 2011. évi CLXVIII. törvény, amely a mezőgazdasági termelést érintő időjárás és más természeti kockázatok kezeléséről szól, szabályozza a mezőgazdasági termelést érintő időjárás és más természeti események miatti kockázatok kezelésének egységes rendjét. A törvény 2. § 21. pontja definiálja a mezőgazdasági káresemény fogalmát, amely a mezőgazdasági földhasználót sújtó, a termesztett növénykultúra 30%-át meghaladó mértékű várható hozamcsökkenését okozó időjárás anomáliákat jelenti. A törvény értelmében ilyen eseménynek számít az aszálykár, a belvízkár, a felhőszakadaskár, a jégesőkár, a mezőgazdasági árvízkár, a tavaszi fagykár, a téli fagykár és a viharkár. E a törvény adja a jogalapot az államnak a havária jellegű események során a gazdálkodók kárának támogatás alapú enyhítésére.

A gazdálkodáshoz kapcsolódóan a 1996. évi LIII. törvény *a természet védelméről* címmel számos paragrafusában előírja a talaj termékenységének és biológiai sokféleségének a védelmét. Ezt kiegészíti továbbá a *környezet védelmének általános szabályairól* szóló 1995. évi LIII. törvény a talaj víz- és levegőháztartásának, szerkezetének védelmével.

Látható, mind a Közösségi, mind a hazai jogalkotás törődik, s egyben szabályozza is a talaj és a termőföldek védelmét. A fentiek alapján jelen kutatásnak nem csak tudományos és gazdasági, hanem jogi szempontból is jelentősége van, mivel minden talajművelőnek jogi kötelezettsége a lehetőségeihez mért kímélő, talajvédő művelési mód alkalmazása.

2.6. A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai

- Egymástól független klímamodellek eredményei hívják fel a figyelmet a klímaváltozás várható hatásaira. Az előrejelzések arra utalnak, hogy romlani fognak a termelési körülmények és megnő a szélsőséges időjárás események száma. Az alkalmazkodás, kármegelőzés és kárenyhítés a magyar agrárium kihívásait növelik.
- A szélsőségek megjelenését mutatja, hogy Magyarországon 2010 és a 2016 évek között az elmúlt száz évben előfordult a legcsapadékosabb (2010), a legszárazabb (2011) és a legszélsőségesebb csapadékeloszlású (2016) év is. A sokévi átlaghoz képest nőtt a hőségnapok és a 20 mm/nap csapadékmennyiséget meghaladó napok száma is.
- A szélsőséges időjárás elemek stresszorként hatnak a talajra, befolyásolják annak tulajdonságait és állapotát. A hő- és szárazságstressz előidézi a talajok zsugorodását,

rontja a mikrobák és gombák aktivitását. A csapadékstressz a talajszerkezet pusztulásában, a talaj elmozdulásában, lemosódásában játszik szerepet. A téli fagyok révén a talaj felszínén előbb ún fagymorzsa, majd por alakul.

- A termőhely hidrológiai adottságai és az alkalmazott termesztési rendszerek együttesen befolyásolják a talaj vízgazdálkodását. A talajminőség romlását megelőző és javító beavatkozások javarészt a talaj vízháztartásának szabályozását célozzák.
- A minőség romlása esetén a talaj szerkezete a pusztulás jeleit mutatja, azaz porosodik vagy rögződik, ülepedésre, tömörödéssre, kérgesedésre hajlamossá válik, hordképessége és művelhetősége romlik, a három fázis aránya kedvezőtlen arányba tolódik. A szervesanyagtartalom csökkenése előzménye és következménye is a talajminőség leromlásának.
- Talajtakarás jelentősen hozzájárulhat a talajszerkezet védelméhez. A növényvédelmi feladatokat a kármegelőzésre célszerű irányítani. A szármadaradványok minél kisebbre szecskázása előmozdítja a feltáródást, ezáltal kiküszöbölheti kártevők- és kórokozók áttelelését, terjedését, visszaveti a gyomkeletést. Az integrált növényvédelemben a mechanikai gyomirtás, a talajművelés jelentős szerepet kap.
- A talaj minőségének védelme kiterjed a talaj biológia aktivitására, mivel alapvető a talajban lévő szervesanyag-források feltáródásrat, amely folyamatok során a növények számára könnyen felvehető tápanyagok keletkeznek. Az edafon jelentős képviselői a földigiliszták, életterükre ráhatással vannak a különböző talajművelési rendszerek és azok intenzitása, valamint a talaj víz- és hógazdálkodása.
- A hazai talajművelési kutatási trendek követték vagy párhuzamban voltak a nemzetközi kutatási irányzatokkal. BIRKÁS és munkatársai (2017) nyomán napjainkban talajművelési szempontból a klímakár csökkentés, kármegelőzés és enyhítés időszakát éljük.
- Mind a Közösségi, mind a hazai jogalkotás szabályozza a talaj és a termőföldek védelmét. Minden talajművelőnek jogi kötelezettsége a lehetőségeihez mért kímélő, talajvédő művelési módszerek alkalmazása.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Szántóföldi kísérlet körülmények bemutatása

3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés

A 2002-ben beállított talajművelési tartamkísérlet, amelyben megfigyeléseimet és vizsgálataimat 2013-tól végzem a GAK Oktató, Kutató, Innovációs Nonprofit Közhasznú Kft., hatvani (Pest megye) Józsefmajori Kísérleti és Tangazdaságában található a tanüzem F10 tábláján (47°41'17.52"É; 19°36'18.98"K; tengerszint feletti magasság: 138 m).

3.1.2. Éghajlati viszonyok

A terület az Észak-alföldi hordalékkúp-síkság középtájunk két kistájának a Hatvani-sík és a Cserhátalja találkozásánál fekszik. A napsütéses órák száma 1920–1980, az átlagos csapadék 520–570 mm. Az évi közepes átlaghőmérséklet 9,5–10,3 °C, amely a vegetációs időszak alatt 16,3–17,5 °C között alakul. A terület ariditási indexe 1,20–1,33 közötti, az uralkodó szélirány az ÉNy-i és a DK-i. Az átlagos szélesebesség 2–3 m/s (DÖVÉNYI 2010; OMSZ 2013).

3.1.3. Talajadottságok

A tájat felső-iocén mészkő és agyag építi fel, amely fokozatosan pannóniai agyagos-kavicsos-ignites rétegsorba megy át. Erre a pliocén végi folyóvízi homok és kavics települt. Ezt felszínt jelentős vastagságban lösz fedi. Ennek köszönhető a táj változatos talajtakarója. A kísérleti terület vályog mechanikai összetételű, kedvező vízgazdálkodású Endocalcic Chernozems, Loamic talajon található (DÖVÉNYI 2010; WRB 2015, 2. ábra).



2. ábra: A józsefmajori kísérleti tér jellemző talajszelvénye (SZIE TALT, GULYÁS 2017)

A vízjellemzőit tekintve a táj mozaikos. Jellemző vízfolyása a Zagyva, a bele torkolló patakok a Szuha-, a Bér-, a Vanyarci- és az Emse-patak). A talajvíz mélysége 2–4 m között mozog, kémiai jellege kalcium-magnézium-hidrogénkarbonáts, keménysége 20–30 nk° között alakul. A rétegvizek mennyisége csekély (DÖVÉNYI 2010). A talaj jellemzőket a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat: A kísérleti terület talajszelvényének leírása és tulajdonságainak változása a genetikai szintek függvényében (SZIE TALT és GULYÁS 2017 alapján)

Ap szint (0–30 cm)	Szárazon sötét szürkésbarna (10YR 4/2), nedvesen nagyon sötét szürkésbarna színű (10YR 3/2). Nedvesen enyhén tapadó. Felső része poros, lemezes szerkezetű, kagylósan törő hasábos. Jellemző a diós szerkezet. Helyenként meszezési foltok fellelhetők. Nagyon tömődött, finom gyökerek csak a szerkezeti elemek között, a repedésekben található. Állatjáratok nincsenek. Fokozatos, egyenletes átmenet jellemzi. Fizikai félesége agyagos vályog.									
AB szint (30–60 cm)	Szárazon szürkésbarna (7,5YR 4/3), nedvesen nagyon sötétszürke-barna (7,5YR 3/3) réteg, melynek fejlett morzsás szerkezete van. Gilisztjáratokat és ürülékeket 80–90%-ban találunk. Egyéb állatjáratok nem találhatók. A gyökerek eloszlása egyenletes. Fokozatos, egyenletes átmenet figyelhető meg. Vályog, agyagos vályog fizikai féleségű. Kalcium karbonát felhalmozódás figyelhető meg.									
BCk szint (50–90 cm)	Szárazon barna (10YR 6/2), nedvesen sötétbarna színű (10YR 5/2), jellemzően morzsás szerkezetű réteg. Gilisztjáratokat 50–60%-ban találunk, elszórtan emlőskrotovinák is találhatóak. Az átmenet éles. Karbonátot nem tartalmazó, vályog fizikai féleségű. Fokozatos átmenet.									
2CBk szint (90–150 cm)	Szárazon barna (10YR 6/3), nedvesen sötétbarna (10YR 5/3) réteg, melynek gyengén szerkezetes struktúrája aprómorzsás. Mészlepedéket, mészsereket és mészgöbcecseket egyaránt tartalmaz. Vályog fizikai féleségű, karbonáttartalma.									
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH H₂O	Sz.a. (%)	CaCO₃ (%)	V%	Homok (2-0,05mm)	%	Agyag % (<0,002 mm)	Térf.tömeg (g/cm³)	Σ Só (%)
Ap	0-30	6,1	1,5	0	55	34		32	1,5	<0,02
AB	30-50	6,9	1,6	0	60	35		37	1,3	<0,02
BCk	50-90	7,13	0,5	9	100	34		31,9	1,3	<0,02
2CBk	90-150	7,9	0,4	25	100	49		29	1,2	0,05

3.2. A vizsgálati idő

A 2002 óta folyó tartamkísérletben szerzett főbb adatokat 2004 és 2013 között, mint bázisadat alkalmaztam csak, a jelen kutatás és dolgozat alapjait adó idények a következők voltak: 2013/2014, 2014/2015 és 2015/2016. A tartamkísérlethez kapcsolódó fotómellékletet az M5. melléklet tartalmazza.

3.3. A kísérlet kezelése, termesztéstechnológiai leírása

A tartamkísérlet technológiai leírását a 3. táblázat, kezeléseinek beállítását pedig az M3. melléklet mutatja. A kísérletben hat különböző kezelés négy ismétlésben van beállítva sávos véletlen elrendezésben.

A kezelések az alábbi művelési beavatkozások és azok művelési mélységeit jelentik:

- SZ: Szántás (28-34 cm), elmunkálva
- DV: Direktvetés
- SK: Sekély kultivátoros művelés (18-22 cm)
- K: Kultivátoros művelés (22-25 cm)
- T: Tárcsázás (14-16 cm)
- L: Lazítás (40-45 cm), szükség esetén síktárcsával elmunkálva.

Minden kezelés 13 m szélességű és 168 m hosszúságú (0,218 ha). A terület két végén lévő két db 9 méteres forgót és a négy ismétlést figyelembe véve a teljes kísérleti terület összes mérete 5,8 hektár. A kísérlet beállításának sematikus ábrázolása az M3. mellékletekben található.

3. táblázat: A kísérlet technológiai leírása 2013 és 2016 között

Év, növény	2013, Tavasz árpa (elővetemény)	2014, Napraforgó	2015, Őszi búza	2016, Kukorica
Tarlóművelés	Tarlóhántás: 2012.08.13. Kémiai gyomirtás: 2012.09.24.	Bolygatatlan Kémiai gyomirtás: 2013.09.14.	Napraforgó deszikkálás: 2014.09.12.	Bolygatatlan Kémiai gyomirtás: 2015.09.15
Alapművelés	2012.09.28.	2013.10.19.	2014.10.01.	2015.10.28.
Magágykészítés	2013.03.08.	2014.04.14.	2014.10.08.	2016.04.18.
Vetés	2013.03.08.	2014.04.14.	2014.10.08.	2016.04.18.
Fajta	Scarlett	P63LE75	Antonius	LG 33.30 (FAO 340)
Műtrágya	Myco'sol PTC: N: 13%, K: 10 %	NPK-8:24:24 (300 kg/ha) B, N, K, S 2014.06.28	NPK-8:24:24 (200 kg/ha) +Nitrogén: 2015.04.16. 2015.05.29 (35 és 15 kg h.a /ha)	NPK-8:24:24 (200 kg/ha) +Nitrogén: 2016.05.22.
Növény védelem	Fejtrágyázás és kémiai gyomirtás 2013.05.17.	Kémiai gyomirtás: 2014.04.14. Gombaölőszer permetezés: 2014.06.28.	Gombaölőszer: 2015.04.16. Kémiai gyomirtás: 2015.04.30. Kalászvédő: 2015.05.29.	Kémiai gyomirtás: 2016.06.03.
Aratás	2013.07.19.	2014.09.25.	2015.07.08.	2016.10.24
Tenyészidő (nap)	133	164	273	193

3.4. Vizsgálatok módszerei

3.4.1. A talaj agronómiai szerkezetének vizsgálata

STEFANOVITS (1992) alapján a rögrakció 10 mm-nél nagyobb, a morzsafrakció 2,5–10 mm közötti, az aprómorzsa-frakció 2,5–0,25 mm közötti, és a porfrakció pedig 0,25 mm-nél kisebb talajalkotókat jelent. A talaj aggregátumainak és arányának vizsgálata segít értékelni a talaj állapotát, klímaérzékenységet, nedvesség és szervesanyag-megtartó képességét, valamint

a talajművelés talajra gyakorolt hatását. A módszer során a kísérlet területéről vett majd átlagolt talajmintákat légszárazra szárítjuk, majd különböző lyukméretű agronómiai szitasoron átrostáljuk. A frakciók súlyát ezek után lemérjük, amelyből megállapítható a minta tömegszázalékában kifejezve az adott aggregátum-típus aránya.

3.4.2. Talajnedvesség mérés

A talaj ellenállásának mérésekor minden esetben elvégeztük a talaj nedvességének a mérését is, mivel a talajellenállás szoros összefüggésben van a talaj aktuális nedvességtartamával. A méréshez a magyarországi Kapacitív Kkt. által gyártott és forgalmazott PT-1 típusú talajnedvesség mérő műszert alkalmaztuk. Az eszköz 60 cm-ig képes helyszíni pontszerű nedvesség mérésre (minden esetben 5 centiméterenként végeztünk méréseket. A műszer a talaj elektromos ellenállását méri, amely annak nedvességtartamával fordítottan arányosan csökken, eként kapjuk meg a talaj az adott pontján mért nedvességét tömegszázalékban kifejezve. Minden mérés alkalmával 0 – 50 cm között vizsgáltuk a talajnedvességet, hogy összevethető legyen a talajellenállás adatokkal is. A talajnedvesség mérése mellett napi csapadékmennyiség adatokat gyűjtöttünk hagyományos csapadékmérő henger segítségével.

3.4.3. Talajellenállás mérés

A talajellenállás-mérést a MOBITECH Bt. Szarvasi penetrométerével (Daróczi-Lelkes féle rugós talajellenállás-mérő) végeztük. Az eszköz 50 cm mélységig képes a talaj tömörödöttségének helyszíni pontszerű megállapítására (DARÓCZI és LELKES 1999). A méréseket a téli fagyott hónapok kivételével havonta egy alkalommal végeztük 5 – 50 cm között. A mérés során kapott adatokat a számunkra jól értelmezhető az SI szabványos nyomás mértékegységbe Mega Pascalba (MPa) konvertáltuk.

3.4.4. Kéregvastagság vizsgálat

A talajszerkezet vizsgálatok során feltárt porfrakció változását, átalakulását vizsgáltuk. A vizsgálati módszer a mintaterület talajfelszínén keletkezett ún. kéreg vastagságának milliméter pontos megmérését jelenti.

3.4.5. Földigiliszta egyedsűrűség számlálás

A talaj biológiai aktivitásának mérésére az egyik módszer a közönséges földigiliszta (*Lumbicus terrestris* L.) számlálása volt a talaj felső 20 cm rétegében. A vizsgálat során ásópróbákat végeztünk kezelésként 5 ismétlésben, az így kapott mintában számoltuk meg a földigilisztákat, amelyet később átszámoltunk db/m²-re. A vizsgálatot minden egyes hónapban a többi méréssel egyidejűleg végeztük. A számlálás átfogó képet ad a talaj-élettér

minőségéről, a szervesanyaggal (giliszta táplálékkal) való ellátottságáról, a hőmérsékletéről, nedvességéről és a lazultságáról.

3.4.6. A termés mutatók meghatározása

Jelen dolgozathoz kapcsolódó években hozammérő rendszerrel felszerelt kombájnnal történt a betakarítás parcellánként, amelyek kapott értékeit (kg/parcella) az adatfeldolgozás során t/ha mértékegységben fejeztük ki.

3.4.7. Talajlaboratóriumi vizsgálat

A tartamkísérlet során 2006-ban a Geoderma Bt. által átlagmintán alapuló talajkémiai vizsgálatot végeztek (4. táblázat). E talajvizsgálat a SZIE TALT segítségével meg lett ismételve 2011-ben, majd a doktori dolgozatomhoz kapcsolódó vizsgálatok során 2015-ben és 2018-ban is. Az utóbbi két vizsgálatot a Kecskeméti Főiskola Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriuma végezte el. Az újbóli talajvizsgálatot indokolta, hogy összefüggést kerestünk az elmúlt 9 év klímakár-csökkentő talajművelése és a talajparaméterek változásai között. Minden mintavétel esetében átlagminta lett véve a kezelésekből ismétlésenként négy-négy mélységből (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm és 30–40 cm). A 2018. évi mintavétel kivételével minden korábbi mintavétel nyár végén augusztusban lett elvégezve, azonban 2018-ban finansziális megfontolások alapján május végén végeztették el a vizsgálatokat.

4. táblázat: A kísérleti terület átlagmintáján alapuló talajvizsgálati paraméterek 2006-ban (Geoderma Bt.).

	0–10cm	10–20cm	20–30cm	30–40cm
pH KCl	5,48	5,50	5,66	5,76
Humusz%	3,965	3,353	3,119	2,650
KA	40	39	39	40
NO ₃ +NO ₂ -N	3,46	2,37	2,65	1,88
P ₂ O ₅	128	95	85	58
K ₂ O	231	166	162	170

A 2006. évi talajvizsgálat folyamán mérve volt a talajminták kálium-kloridos pH-ja, az Arany-féle kötöttsége, a humusztartalom, valamint a makroelem-tartalom (NO₃+NO₂-N, P₂O₅, K₂O). A 2015. és 2018. évi talajmintavétel és laboratóriumi talajvizsgálat folyamán meg lett mérve a talajminták vizes és kálium-kloridos pH-ja, az Arany-féle kötöttsége, a humusztartalom, valamint a makroelem-tartalom (NO₃+NO₂-N, P₂O₅, K₂O). A humusztartalom százalékban (%), a makroelem tápanyag-tartalom mg/kg-ban lett kifejezve. A pH és az Arany-féle kötöttség dimenzió nélküli száma önmagában is értelmezhető.

3.5 Vizsgálatok gyakorisága

A kísérleti időszakban a mért paramétereket különböző gyakorisággal mértük szakmai és költséghatékonysági szempontok alapján. Egyes paramétereket havi rendszerességgel (csapadék, talajnedvesség stb.), más paramétereket évente egyszer (terméshozam), ezenkívül költségvetési indokok miatt bizonyos paramétereket csak időszakosan (humusz tartalom, pH stb.) mértünk. A mérések gyakoriságát az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat: A vizsgált időszakon belül a tartamkísérletben elvégzett mérések gyakorisága

Mért paraméter	Mérési gyakoriság
Csapadékmennyiség (mm) (l/m ²)	napi
Talajnedvesség (m/m%)	havi
Talajellenállás (MPa)	havi
Talajszerkezet (%)	havi
Kéregvastagság (mm)	havi
Gilisztaszám (db)	havi
Talajszerkezet (%)	havi
Termésmennyiség	évi
Talajkémiai vizsgálatok	időszakos

3.6. Statisztikai és adatelemzési módszerek

3.6.1. Alkalmazható skálatípusok

A kutatásban maga a mérés nagy jelentőséggel bír, ugyanis a kutató csak ennek okán tudja statisztikailag elemezni az adatokat és kommunikálni a kapott eredményeket. A mérések során kapott adatok értelmezéséhez először a változók mérési szintjét kell azonosítani, mivel ismerete meghatározza az alkalmazható elemzési módszert. Ennek első lépése, hogy a változókat (a számszerűsített ismérveket) ún. mérési skálákra helyezzük el, a változókból létezik független (magyarázó) és független (magyarázott) változó (TÓTHNÉ 2011).

Mérési skálák közül a megkülönböztetünk kategorikus (főként diszkrét tulajdonságok összessége), valamint metrikus (szám) főskála típusokat. A kategorikus skáláknak két típusa van, az ún. nominális (névleges) és az ordinális (sorrendi) skálák. A metrikus skálák közé sorolandó az intervallum (különbségi) és az arányskála (SAJTOS et al. 2007). A skálatípusokat, azok alapvető tulajdonságait példákkal az 6. táblázatban mutatom be, valamint ebben a táblázatban összegzem a kutatás során gyűjtött adatok skálatípusokba történő besorolását is.

6. táblázat: A metrikus és kategorikus mérésekhez tartozó skálatípusok (BACKHAUS et al. 1994 nyomán) és a kutatás során gyűjtött adatok skálatípusonkénti besorolása

	Skálatípus	Alapvető tulajdonságok	Példa	Gyűjtött adat típusa
Kategorikus	Nominális	Számok azonosíthatók és csoportosíthatók	Nem, lakhely stb.	Kezelések (megnevezése)
	Ordinális	Számok relatív pozíciót jelölnek, de különbségük értelmezhetetlen.	Preferencia sorrend, piaci pozíció stb.	<i>nem volt ilyen jellegű adat</i>
Metrikus	Intervallum	Nullapont nélküli egyenlően szakaszolt skála, ahol a számok különbsége értelmezhető.	Hőmérséklet (°C), attitűd stb.	Arany-féle kötöttség
	Arány	Nullaponttal rendelkező, egyenlően szakaszolt skála, ahol a számok aránya is összehasonlítható.	Magasság, súly, születési év stb.	- Csapadék (mm) (l/m²) - Talajellenállás (MPa) - Talajnedvesség (m/m%) - Talajszerkezet (%) - Kéregvastagság (mm) - Gilisztaszám (db) - Humusz tartalom (%) - Termés (t/ha)

3.6.2. Alkalmazott statisztikai módszerek

A statisztikai elemzést Microsoft Excel és IBM SPSS szoftverek segítségével végeztem. A kapott adatok skálatípusonként történő elhelyezése és a szakirodalom (SVÁB 1967; SAJTOS et al., 2007; ZÁVOTI 2010) segítségével kiválasztottam az alkalmazható statisztikai elemzéseket és módszereket. A statisztikai módszerek közül elsősorban az egytényezős (ANOVA) és többtényezős (MANOVA) varianciaanalíziseket alkalmaztam a csoportok közötti különbségek felmérése érdekében. Az elemzések során elvégeztem a Levene-tesztet, hogy ellenőrizsem a varianciahomogenitást. A Levene-teszt eredményeként feltételezhető szóráshomogenitás ($p > 0,05$), esetén az LSD (Least Significant Difference) post-hoc tesztet futtattam le a csoportok középértékeinek elemzéséhez. Amennyiben a varianciahomogenitás nem valósult meg ($p < 0,05$), akkor a Tamhane-féle T2 post-hoc tesztet alkalmaztam.

A MANOVA vizsgálat során a növényállomány, az alapművelés és a vegetációs időszakban hullott csapadék a vizsgálati paraméterekre gyakorolt együttes hatásait vizsgáltam $p < 0,05$ szinten.

A vizsgált paraméterek közötti összefüggések vizsgálatára Pearson-féle korrelációs együttható számításával korrelációs mátrixot készítettem, amely során figyelembe vettem a

kapott korrelációs együtthatók szignifikancia szintjét is ($\alpha=0,05$), amely megmutatta, hogy a talált összefüggés milyen valószínűséggel valós és nem a véletlen műve.

Főkomponens analízist végeztem, amelyet megelőzve elvégeztem a szükséges próbastatisztikákat az eredmények értékelése érdekében.

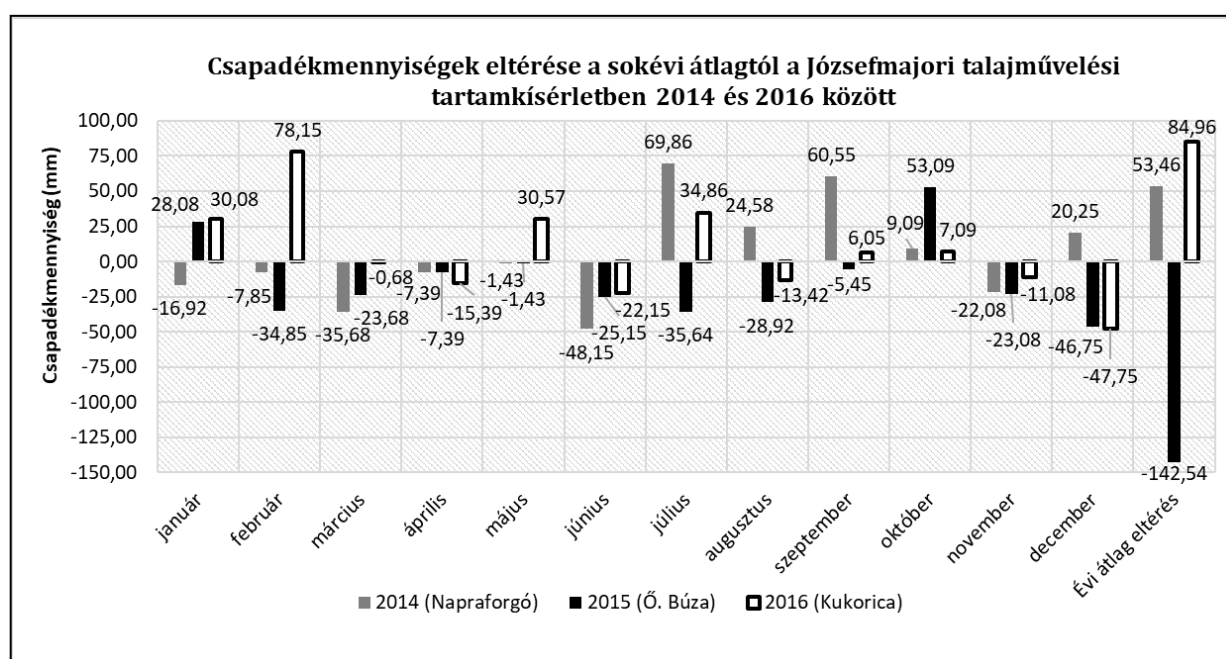
Egyszerűsített leíró rangsort hoztam létre vizsgált komponenseként a szignifikáns eredmények kumulált átlagából, amelyeket tenyésztidőszakonként és a három év összességében is rangsoroltam a talajművelési kezelések összehasonlítása érdekében.

4. EREDMÉNYEK

Célkitűzéseim alapján az eredmények bemutatásának sorrendje követi az adatok mérési gyakoriságát: időjárási, talajszerkezeti, talajnedvességi, talajellenállási, kéregvastagsági és földigiliszta aktivitásra utaló adatok és elemzésük, majd a talajvizsgálatok és a rangsorolás eredményeit mutatom be a következtések fejezet előtt.

4.1. A kísérleti területen mért csapadék adatai

A mért csapadékmennyiségek eltérését a sokévi átlagtól 2014 és 2016 között a 3. ábrán mutatom be.



3. ábra: A kísérleti időszak (2014-2016) alatt hullott csapadék eltérése a területre jellemző sokévi átlagtól

A 3. ábrán jól látható a három idény jelentős eltérése a sokévi átlagtól. 2014-ben és 2016-ban csapadékos, nedves időjárás jellemezte az évet, ellenben 2015-ben aszályos idény következett. A 2014. év első felét az átlagoshoz közeli csapadékeloszlás jellemezte, azonban a száraz június után csapadékosra fordult az időjárás és a nyári, nyár végi, valamint az őszi csapadékok hatására 53 mm-rel több csapadék hullott a sokévi átlaghoz képest. A 2015. évben jellemzően a sokévi átlag alatti csapadékmennyiség hullott a területen, kivéve októberben, ily módon a sokévi átlaghoz képest a csapadékösszeg 142 mm-rel lett alacsonyabb. A 2016. év csapadék tekintetében átlagosnak mondható, azonban az év elején hullott nagy mennyiségű eső egész évre kihatott, az év végéig összesen 84 mm-rel esett több az átlagosnál. Az év eleji sok csapadék fontossá vált, mivel januárban az előző kimagaslóan száraz év után következett be.

4.2. A kísérletet leíró statisztikai összegzés

A 7. táblázatban összegzem a kísérlet elemzéséhez felhasznált adatokat. Minden vizsgált paraméter 432 db adatpontból tevődik össze. Összesen három idényt (2014-2016) vizsgáltam, amelyben a termesztett fő növények sorrendje napraforgó, őszi búza és kukoricavolt. Minden idényben hat kezelés volt négy ismétlésben, összesen 24 parcellával. Minden idényben a vegetációs ciklus 6-6 releváns időpontja lett kiválasztva a statisztikai vizsgálatokhoz, habár a vizsgálatokat havi jelleggel elvégeztük.

7. táblázat: A kísérlet leíró statisztikai összegzése (2014-2016)

	N	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Idények száma	3	1	3*	2,00	0,817
Művelési módok száma	6	1	6*	3,50	1,710
Ismétlések száma	4	1	4*	2,50	1,119
Idényenként mérési időpontok	6	1	6*	3,50	1,710
Por %	432	1,68	38,03	12,743	7,550
Aprómorzsa %	432	18,90	77,22*	38,317	9,237
Morzsa %	432	14,28	59,26*	37,218	7,673
Rög %	432	,00	31,54*	13,617	5,953
Kéregvastagság (mm)	432	2,28	40,95*	15,073	7,311
Gilisztaszám (db/m ²)	432	,00	252,00*	11,618	31,103
Talajnedvesség 0-15 cm (m/m%)	432	14,78*	32,44	24,055	3,797
Talajnedvesség 15-30 cm (m/m%)	432	21,04	34,37	28,905	2,828
Talajnedvesség 30-50 cm (m/m%)	432	22,85	35,16*	29,688	2,859
Talajjellenállás 0-15 cm (MPa)	432	,58	6,72*	2,790	1,442
Talajjellenállás 15-30 cm (MPa)	432	1,00	6,72*	3,581	1,706
Talajjellenállás 30-50 cm (MPa)	432	1,36	6,72*	3,890	1,628
Csapadék m. mérés előtt (mm)	18	,00*	80,00	18,666	20,525
Havi csapadék mennyiség (mm)	18	4,00*	142,00	55,944	39,181
Termés (t/ha)	72	1422,00	10182,00*	5581,555	2333,232
Valós N (listázott)	432				

*: A paraméter tekintetében a szemléltető és a szélsőséges adatok kiemelése történt

A maximum értékek közül a táblázatban kiemeltem a por frakció mért maximális 38% arányát, amely veszélyesnek ítéltető a talajszerkezet szempontjából, továbbá a rögfrakció mért maximum értékét, amely elérte a 31%-ot. Az aprómorzsa és morzsa frakciók 77 és 59% értékeket mutattak a vizsgált időszak alatt. A kéregvastagságban mértünk 41 mm maximumot, míg a földigilisztaszám maximumát 252 db/m²-ben rögzítettük. A talajnedvesség értékeknél

megemlítendő a 30-50 cm mély rétegek magasnak nevezhető nedvessége 35 m/m% értékkel, továbbá az egy hektárról betakarítható termés maximális értéke, amely egyes kezelések esetében elérte 10 tonnát. Minimum értékekben érdemes kiemelni a 0-30 cm közötti talajréteg nedvesség értékét 21 m/m%-kal, valamint a mérés előtti 7 napban esett 0 mm és az adott havi 4 mm csapadékmennyiségeket. Az egyes paraméterekre külön kiszámoltam a minták relatív szórását (variációs együtthatóját; V), amely eredményei minden esetben 30% alatt alakultak: $3,80\% \leq V \leq 28,95\%$.

4.2. Az eredmények homogenitásának vizsgálata

Az ANOVA vizsgálatokkal párhuzamosan elvégeztem az eredmények homogenitásának vizsgálatát is. A Levene-teszt eredményeként feltételezhető szóráshomogenitás ($p > 0,05$), esetén az LSD (Least Significant Difference) post-hoc tesztet futtattam le a csoportok középértékeinek elemzéséhez. Amennyiben a variancahomogenitás nem valósult meg ($p < 0,05$), akkor a Tamhane-féle T2 post-hoc tesztet alkalmaztam.

8. táblázat: A vizsgált időszak mért eredményeinek homogenitás vizsgálata Levene-teszttel

	2014		2015		2016		2014-2016	
	Levene	Sig.	Levene	Sig.	Levene	Sig.	Levene	Sig.
Por %	10,366	,000	2,979	,014	6,046	,000	23,186	,000
Apró Morzsa %	5,625	,000	2,304	,048	1,925	,094^{ns}	8,449	,000
Morzsa %	1,817	,113^{ns}	,409	,842^{ns}	10,022	,000	8,659	,000
Rög %	8,141	,000	1,048	,392^{ns}	1,673	,145^{ns}	2,836	,016
Kéreg vastagság (mm)	6,860	,000	7,257	,000	5,970	,000	11,042	,000
Gilisztaszám (db)	17,142	,000	14,848	,000	14,870	,000	10,160	,000
Talajnedvesség 0-15 cm (m/m%)	2,368	,043	1,737	,130^{ns}	,416	,837^{ns}	1,043	,392^{ns}
Talajnedvesség 15-30 cm (m/m%)	4,029	,002	4,641	,001	,220	,953^{ns}	3,845	,002
Talajnedvesség 30-50 cm (m/m%)	1,997	,083^{ns}	4,240	,001	,240	,944^{ns}	3,047	,010
Talajellenállás 0-15 cm	4,344	,001	6,942	,000	,780	,566^{ns}	10,376	,000
Talajellenállás 15-30 cm	1,509	,191^{ns}	2,326	,046	1,443	,213^{ns}	1,142	,337^{ns}
Talajellenállás 30-50 cm	1,436	,215^{ns}	1,342	,250^{ns}	2,115	,067^{ns}	1,470	,199^{ns}
Termésmennyiség	28,602	,000	18,996	,000	7,603	,000	1,577	,165^{ns}

ns: nem szignifikáns eredmény, a szórás homogén ($p \geq 0,05$)

A 8. táblázatban kiemelve és ns jelzéssel láttam el azokat az eredmény sorozatokat, ahol a varianciák inhomogének, vagyis ahol a p érték nagyobb vagy egyenlő, mint 0,05. A tesztet lefuttattam mindhárom vizsgált időnyre külön-külön, továbbá a három időnyt együttesen is megvizsgáltam.

A kapott adatok alapján kitűnik, hogy a 2014-ben mért adatok között egyedül a morzsa frakció, az 30-50 cm mélységben mért talajnedvesség és a 15-50 cm mélységben mért talajjellenállás esetében valósul meg a variancia homogenitás. A 2015. évi eredmények között a morzsa és rögrakciók aránya, a 0-15 cm mélységben mért talajnedvesség és a 30-50 cm mélységben regisztrált talajjellenállás adatoknak homogén a varianciájuk. A 2016. évi idényben a termés, a gilisztaszám és kéregvastagság, valamint a morzsa- és a porfrakciók esetében nem valósult meg a szóráshomogenitás, az összes többi vizsgált tényező esetében igen. A 2014 és 2016 közötti vizsgált időszakban a szórások homogénnek tekinthetők a 0-15 cm mélységben mért talajnedvesség, a 15-30 cm mélységben mért talajjellenállás és a termés esetében. Ahol megvalósult a szóráshomogenitás, ott minden esetben a csoportok közötti különbségek vizsgálatára az LSD post-hoc tesztet futtattam le, minden egyéb esetben a Tamhane T2 vizsgálatot.

4.3. Talajszerkezeti vizsgálatok eredményei

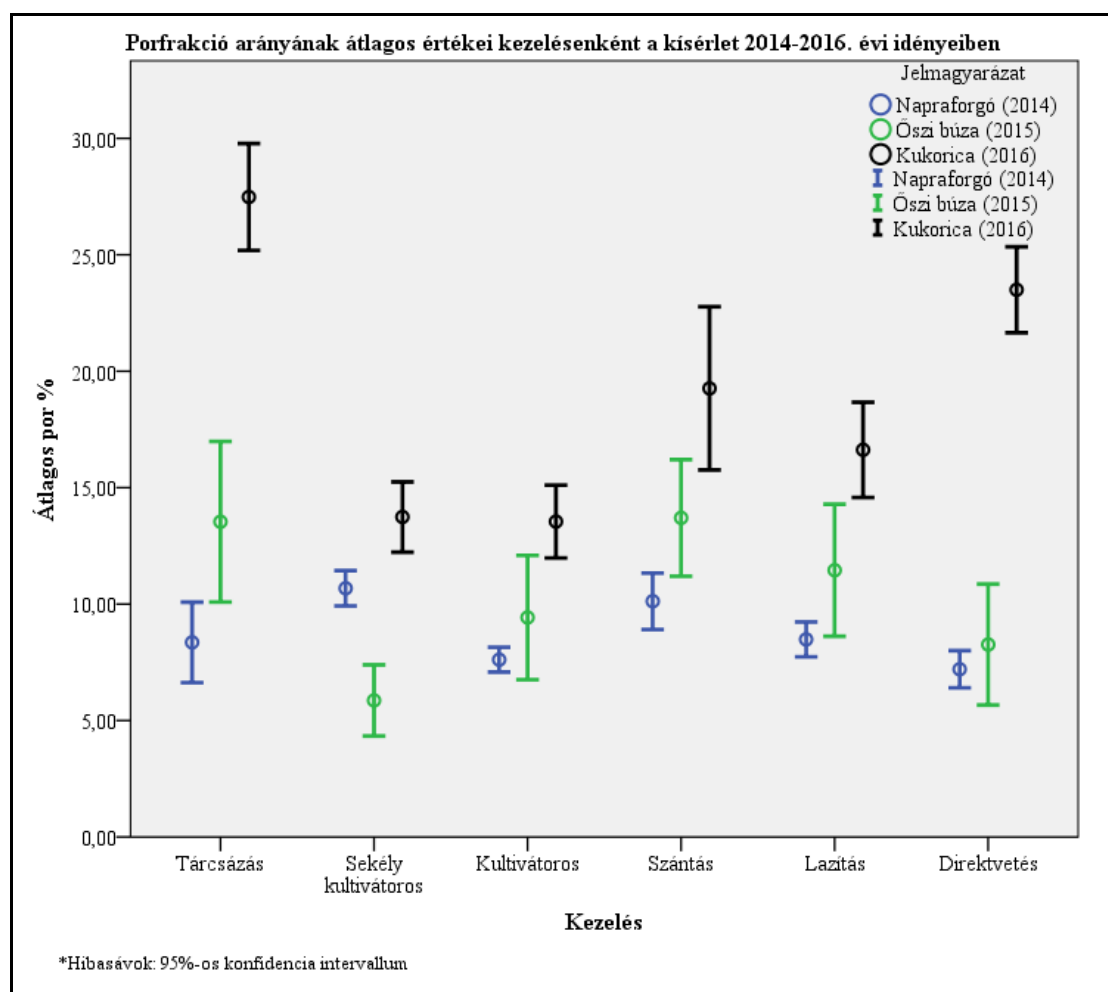
4.3.1. A porfrakció vizsgálatának eredményei

A porfrakció arányának vizsgálatából kitűnik, hogy szignifikáns különbség van az adott évek között, azonban a kezelések között nem mindig igazolható statisztikailag az eltérés. A kezelések közötti különbségeket a 4.2 ábra és az M4.1a-b. melléklet mutatja. A napraforgó esetében a sekély kultivátoros műveléshez képest igazolható a különbség a kultivátoros (-3,063%), a lazításos (-2,195%) és a direktvetéses (-3,474%) kezelések között, ugyancsak igazolható eltérés van a direktvetés (-2,915%) és a szántás között.

Az őszi búza idényében a sekélykultivátoros műveléssel kezelt talaj a tárcsázáshoz képest 7,68%-kal, a szántáshoz képest 7,84%-kal, a lazításos alapműveléshez képest 5,59%-kal tartalmazott kevesebb port. Igazolható különbség alakult a szántás és a direktvetés között, ahol az előbbi 5,44%-kal tartalmazott több port.

A 2016. idényben a kukorica alatt a két legtöbb port tartalmazó kezelés a tárcsázás és a direktvetéses volt. Az előbbi átlagosan több mint 10%-kal több port tartalmazott a többi kezeléshez képest. A sekélykultivátoros kezelésben átlagosan 13,75%-kal, a kultivátoros kezelésben 13,94%-kal, a szántásban 8,22%-kal és a lazításos művelésben pedig 10,86%-kal keletkezett kevesebb por a tárcsázáshoz képest. A direktvetéssel szemben pedig a sekély kultivátoros művelést 9,76%-kal, a kultivátoros művelést 9,95%-kal, a lazítást 6,88%-kal kisebb por arány jellemezte az idény folyamán. A legkisebb ingadozást a 2014. és 2015. idényekben a kultivátoros és a sekély kultivátoros kezelések, míg a legnagyobbat mindkét idényben a tárcsázás mutatta. A kukorica alatt a legkisebb ingadozás ugyancsak a kultivátoros

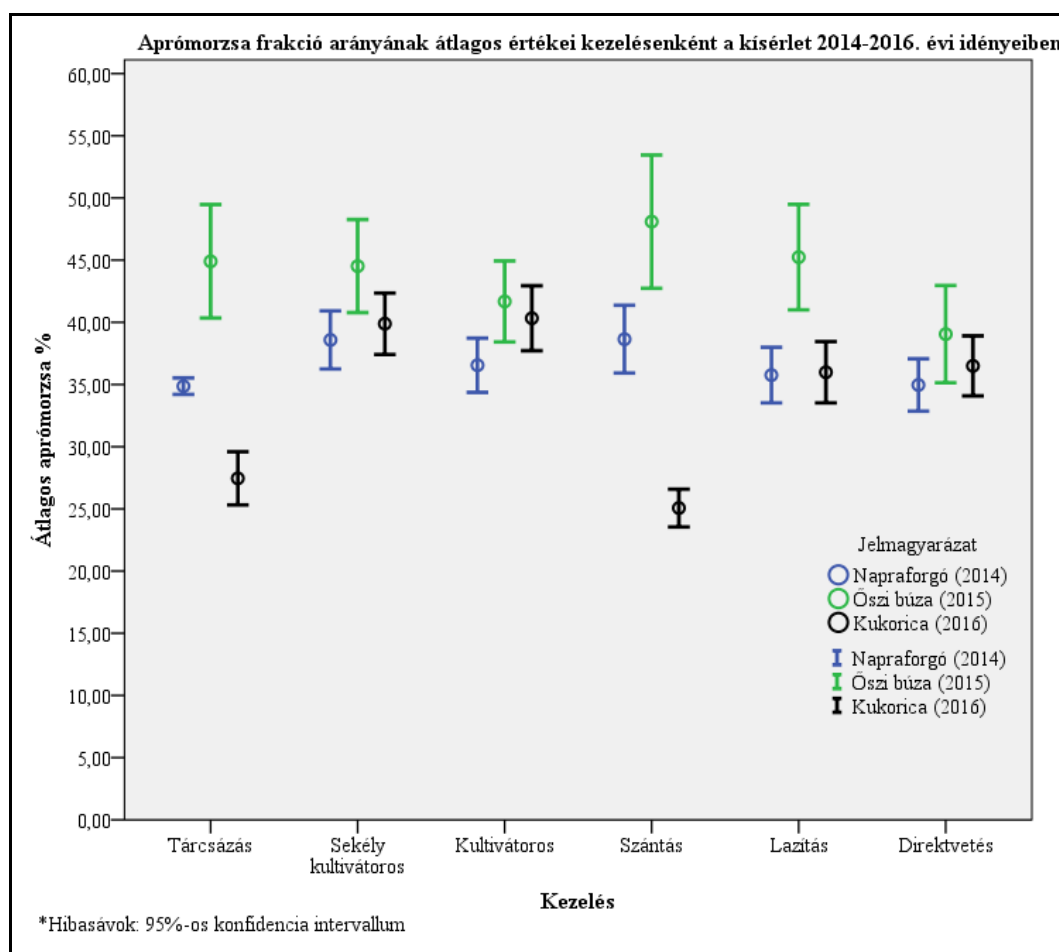
műveléseknél volt észlelhető, ugyanakkor a szántás portartalma jelentősen ingadozott. Megállapítható, hogy bár minden művelésnél keletkezik por, de legkevesebb mindhárom idényben a kultivátorral művelt talajokban keletkezett.



4. ábra: A porfrakció arány átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. idényeiben.

4.3.2. Az aprómorzsa frakció vizsgálatának eredményei

Az aprómorzsa frakció értékelésekor az ANOVA elemzés statisztikailag igazolható különbséget mutatott, de a post-hoc teszt alapján a kezelések átlagai közötti különbségek a 2014. évi napraforgó és a 2015. évi őszi búza termesztése esetén nem szignifikánsak (M4.2a-b melléklet). A 2016. évi kukorica termesztésekor azonban sok és jelentős szignifikáns különbségek tapasztalhatók (4.2 ábra). Ugyanakkor nem mutatható ki szignifikáns különbség a tárcsázás és a szántás (25-28%), a sekélykultivátoros és a kultivátoros (40%), valamint a lazítás és a direktvetés (35%) között. Vagyis ezen kezelések páronként hasonló mértékben tartják meg a talaj aprómorzsás szerkezetét, közöttük főleg a kultivátoros művelések és a legkevésbé a tárcsázás és a szántás. E tapasztalat vélhetőleg annak tudható be, hogy a tárcsázás és a szántás a szakirodalmi adatok – BIRKÁS et al., (2011) és CSORBA et al., (2011) alapján is inkább a porfrakció nagyságát gyarapítják (4. ábra). Az idényen belüli ingadozások jól megfigyelhetők a 5. ábrán, amely azt mutatja, hogy a legkisebb ingadozás a szántás és a tárcsázás esetében, míg a másik négy kezelésben egymáshoz hasonlóan ingadozik.



5. ábra: Az aprómorzsza (0,25-2,5 mm) frakció arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.

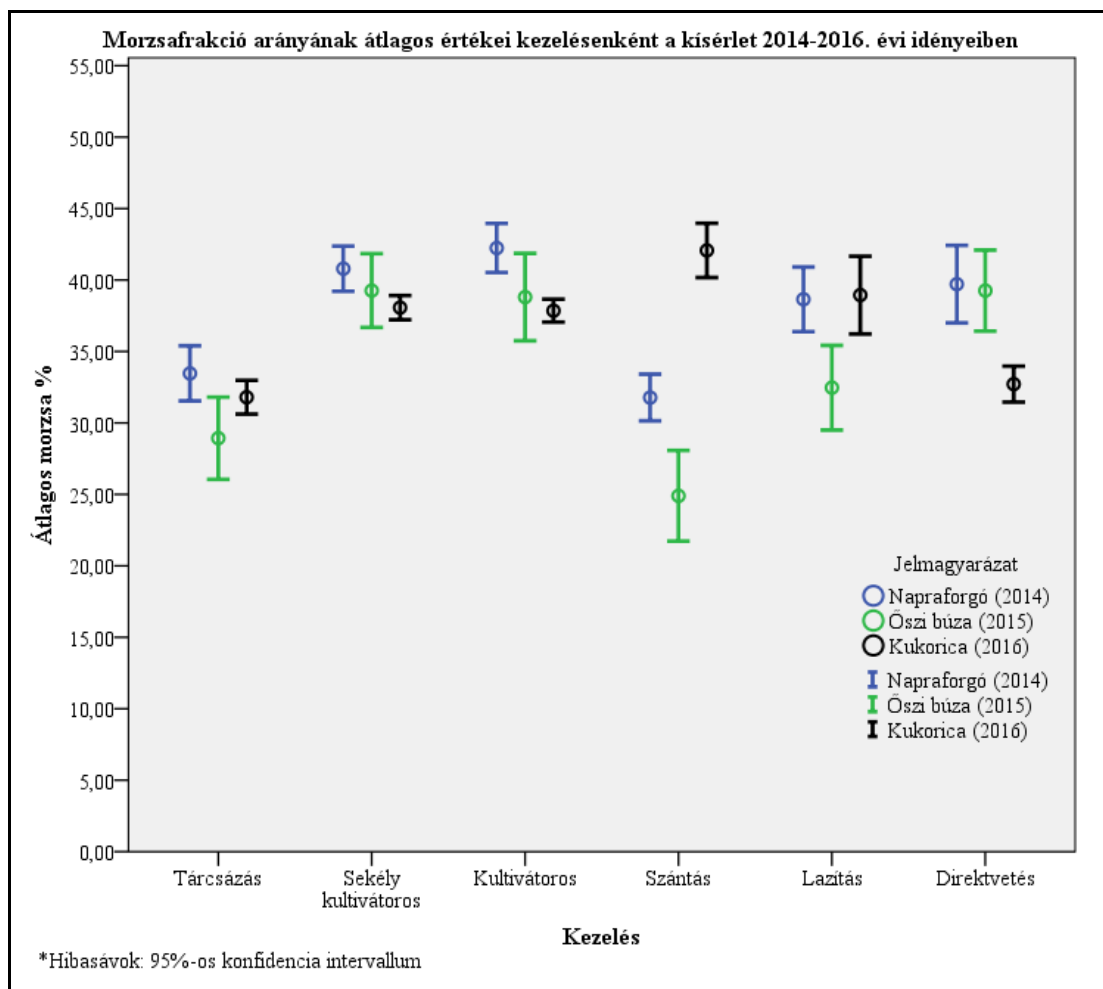
4.3.3. A morzsza frakció vizsgálatának eredményei

Az ANOVA és post-hoc vizsgálatából kitűnik, hogy nagyobb taljszerkezeti különbségeket a kezelések között a morzsza mérettartománynál lehet észlelni. Jelentősebb statisztikailag is igazolható különbséget mértünk több esetben (6. ábra; M4.3a-b melléklet), úgy, mint az aprómorzsza frakciónál. Nem tapasztaltunk igazolható eltérést a 2014. évi napraforgó termesztésekor a sekélykultivátoros, a kultivátoros, a lazítás és a direktvetés között, de e kezelésektől szignifikánsan negatív irányban tértek el a tárcsázás és szántás kezelések. A tárcsázott kezelés átlagosan -7%-kal a szántás -9%-kal kevesebb morzsát tartalmazott a többi kezeléshez viszonyítva.

A 2015. évi őszi búza termesztésekor nem tapasztaltunk különbségeket a tárcsázás és a lazításos művelésre jellemző morzsza arány, továbbá a kultivátoros művelések és a direktvetés között. Ellenben a szántás az összes többi kezeléstől jelentősen eltért, itt mértük a legalacsonyabb, átlagosan mintegy 25% morzsza arányt.

A 2016. évi kukorica idényében bizonyítható különbséget nem találtunk a tárcsázás és a direktvetés, valamint a kultivátoros kezelések és a direktvetéses, valamint a lazításos művelések összehasonlításakor. A szántás egyedül a lazítástól nem különbözött a morzsatartalom tekintetében.

Elmondható továbbá, hogy az adott művelési kezelések a morzsatartalomban magukhoz viszonyítva megközelítőleg azonos eredményeket mutattak mindhárom idényben, kivéve a szántást, amelynek morzsza aránya jelentősen ingadozott. Az őszi búza alatt a legkisebb (25%), míg a kukorica alatt a legnagyobb (42%) átlagos morzsatartalmat mértük a kezelésekben. A tárcsázás minden idényben 30% körüli morzsza arányt mutatott, míg a kultivátoros, a lazításos művelés és a direktvetéses mindhárom idényben 30-40%-ot. Az idényen belüli ingadozások kiegyenlítettek voltak a kezelések között a 2014. és a 2015. évi idényekben, ellenben 2016-ban a lazításos kezelésben alakult a legnagyobb ingadozás a morzsafrakcióban, ugyanakkor a két kultivátoros kezelésben a legkisebb.



6. ábra: A morzsafrakció (2,5-10 mm) arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.

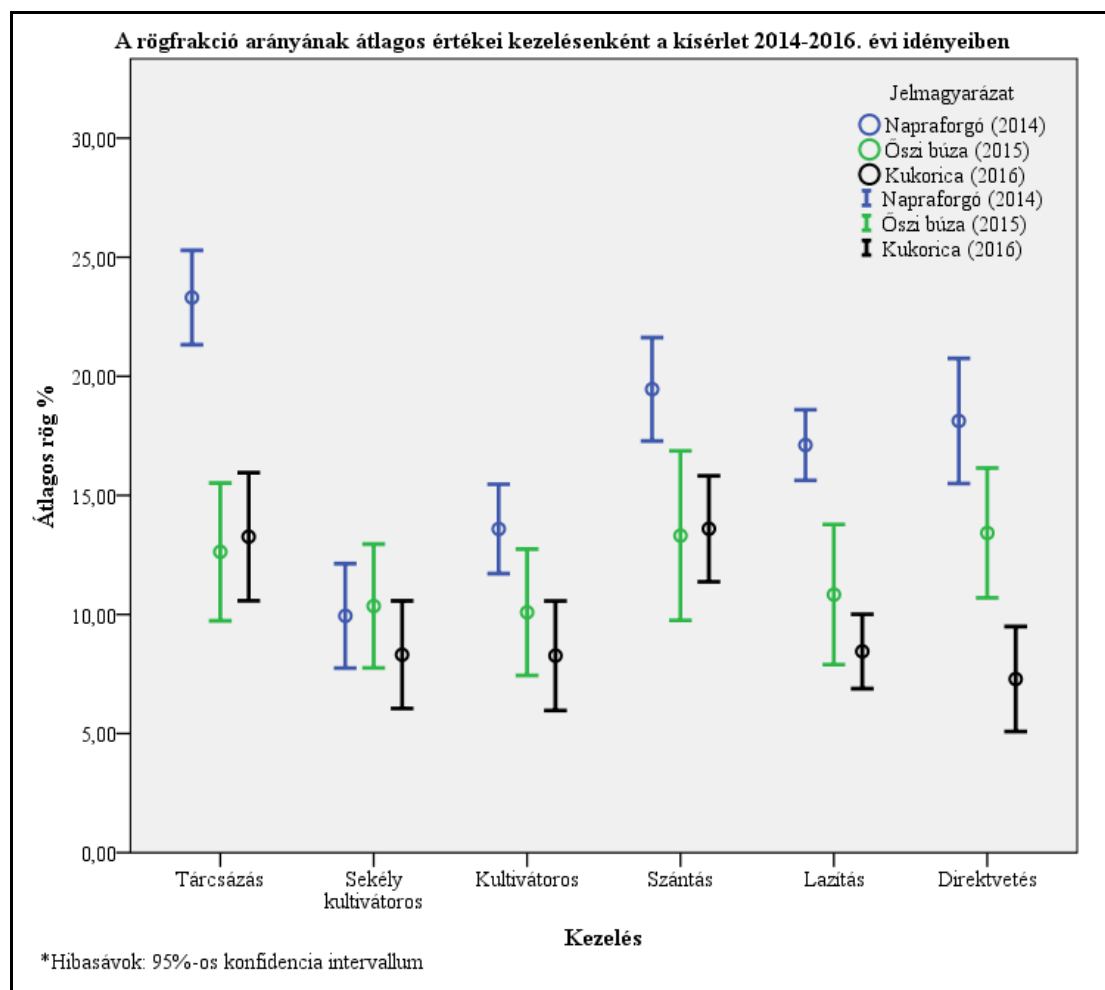
4.3.4. A rögrakció vizsgálatának eredményei

A rögrakciók statisztikai elemzésénél megállapítható, hogy a 2015-ben, az őszi búza idényében nem volt szignifikáns különbség a kezelések között (4.4a-b melléklet). A kukorica és a napraforgó esetében azonban igen.

A napraforgó alatt egyedül a két kultivátoros művelés között nem lehetett statisztikailag igazolható különbséget kimutatni (7. ábra), továbbá a szántáshoz viszonyítva a lazítás és a direktvetés esetében sem. A 2016. idényben a tárcsázás és a szántás, a két kultivátoros művelés, valamint a lazítás és a direktvetés között nem alakult statisztikailag kimutatható különbség. A lazításos alpművelés igazolható különbséget mutatott a tárcsás (-4,816%) és a szántásos (-5,15%) művelésekhez képest. A direktvetés azonban csak a tárcsás műveléssel szemben mutatott eltérést, -5,947%-kal.

Az őszi búzában, vélhetően a sűrű növényállomány miatt nem tudtunk igazolható különbségeket mérni. A 7. ábrán látható, hogy a kultivátoros művelésekre mindhárom

idényben – a többi műveléshez viszonyítva – alacsony rögzesség volt jellemző. A második legkevesbé rögzítő alpművelés a 2014. évi idény kivételével a lazítás volt, amelyet a szántás és a tárcsázás követett. A direktvetés rögzessége a technológia miatt alakult ki, amely főként az ülepedett felszín vetéskori bolygatásából adódhatott. Az idényen belüli mért ingadozás a rögzfrakciók esetében mindhárom idényben kiegyenlített volt, azonban a napraforgó és a kukorica alatt a lazításos alpművelés stabilabb rögzfrakció arányt mutatott a többi kezeléshez képest.



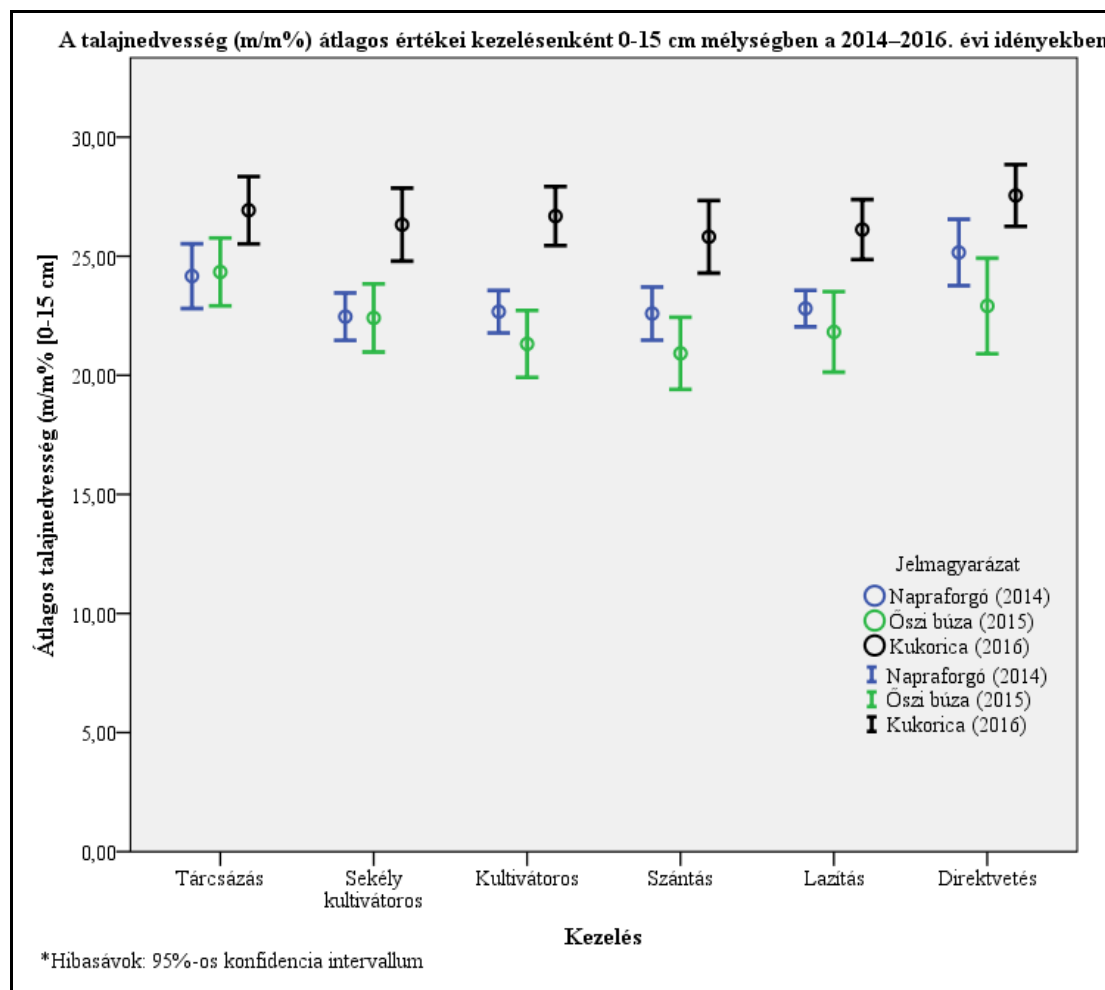
7. ábra: A rögzfrakció (> 10 mm) arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.

A talaj szerkezetére vonatkozó eredményeket összegezve megállapítható, hogy a hazai szakirodalmi adatok után újra igazolódott a tárcsás és a szántásos művelések porosító hatása. A porosodás különösen a széles sorközü növények termesztésekor lépett fel. Azokban a művelésekben, ahol magasabb volt az aprómorzsa aránya, ott a por frakció is jelentősebb volt (BIRKÁS et al., 2011; CSORBA et al., 2011; FÖLDES 2013). Az eredmények alapján BOTTLIK és munkatársaihoz (2014) hasonlóan megállapítható, hogy a direktvetés és a

kultivátoros kezelések morzsásabb szerkezetet eredményeztek, ellenben a szántás és tárcsás kezelés a porfrakció magas aránya mellett rögzít hatású is.

4.4 A talajnedvesség vizsgálat eredményei

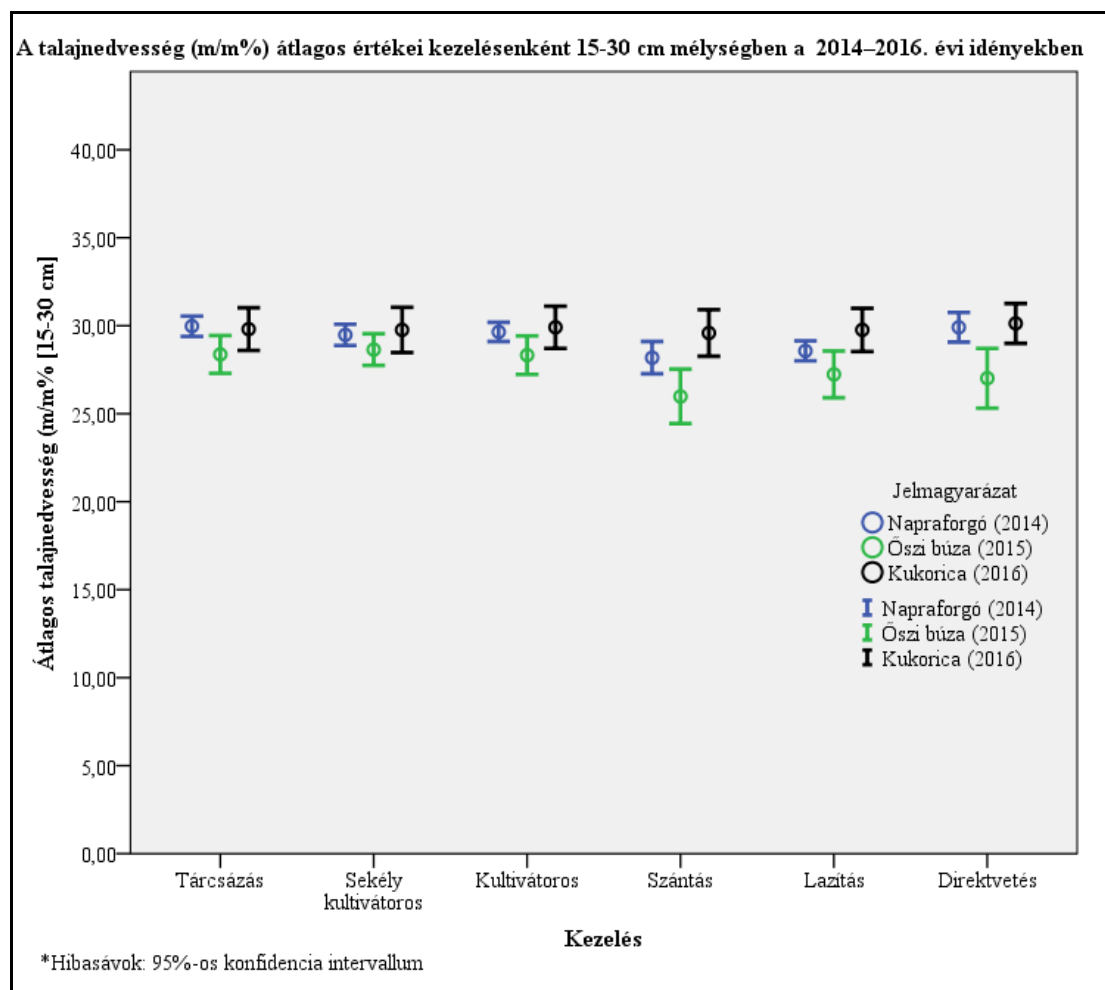
A talajnedvesség vizsgálatok eredményeit a 8 – 10. ábrákon és a 4.5 mellékletben mutatom be. Minden mérés alkalmával 0 – 50 cm között vizsgáltuk a nedvességet a talajellenállás adatokkal összevethetőség érdekében.



8. A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 0 – 15 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben

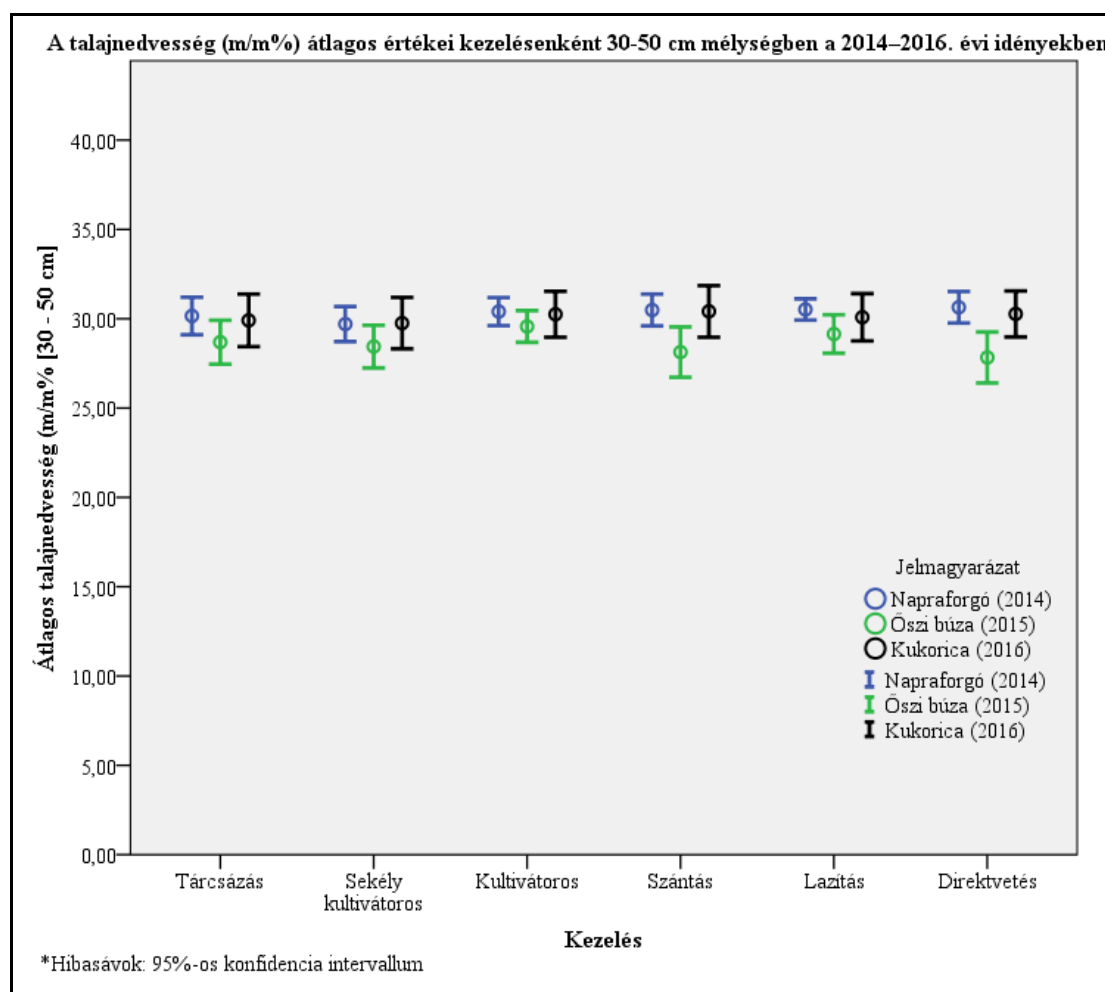
A talajnedvesség átlagos értékeinek alakulását a 0 – 15 cm rétegben a 8. ábra mutatja. A vizsgált idényekben a 2016. évi tér el szignifikánsan a 2014-2015. évekhez képest. A 2016-ban mért magasabb talajnedvesség értékek a 0 – 15 cm-es rétegben az idény során hullott – a sokévi átlagtól +84 mm-rel több – csapadéknak tudható be. A kezelések között statisztikailag igazolható különbség a 2014. évi idényben csak a sekélykultivátoros (22,46%) és a direktvetés (25,16%) kezelés között volt. Az őszi búza esetében (2015) a tárcsázás (24,34%) szignifikánsan eltér a szántás (20,92%) és a kultivátoros (21,32%) kezelésektől, a többi

kezelés között nem találtunk igazolható eltérést. A 2016. évi kukorica idényében az adatok alapján nem található statisztikailag igazolható különbség a kezelések között.



9. A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 15 – 30 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben

A 15 – 30 cm rétegben mért talajnedvesség adatokban a vizsgált idények között nincs szignifikáns különbség (9. ábra). Csupán a 2014. évi idényben alakult statisztikailag igazolható különbség három kezelésnél. A tárcsázott takajban (29,96%) szignifikánsan magasabb nedvességet mértünk a szántáshoz (28,94%) és a lazításhoz (28,57%) képest, további különbségeket a mért adatok alapján nem tudtunk igazolni. A 2015. évi őszi búza és a 2016. évi kukorica alatt a 15 – 30 cm mély rétegben mért nedvesség adatok alapján nem volt statisztikailag igazolható különbség a kezelések között.



10. ábra: A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 30 – 50 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben

Az adatok alapján a 30 – 50 cm-es rétegben (10. ábra) nincs igazolható különbség sem az idények, sem a kezelések között. A kezeléseknek feltételezhetően ebben a mélységben nincs tartós hatása a kapilláris vízemelés és a kis párolgási veszteség miatt.

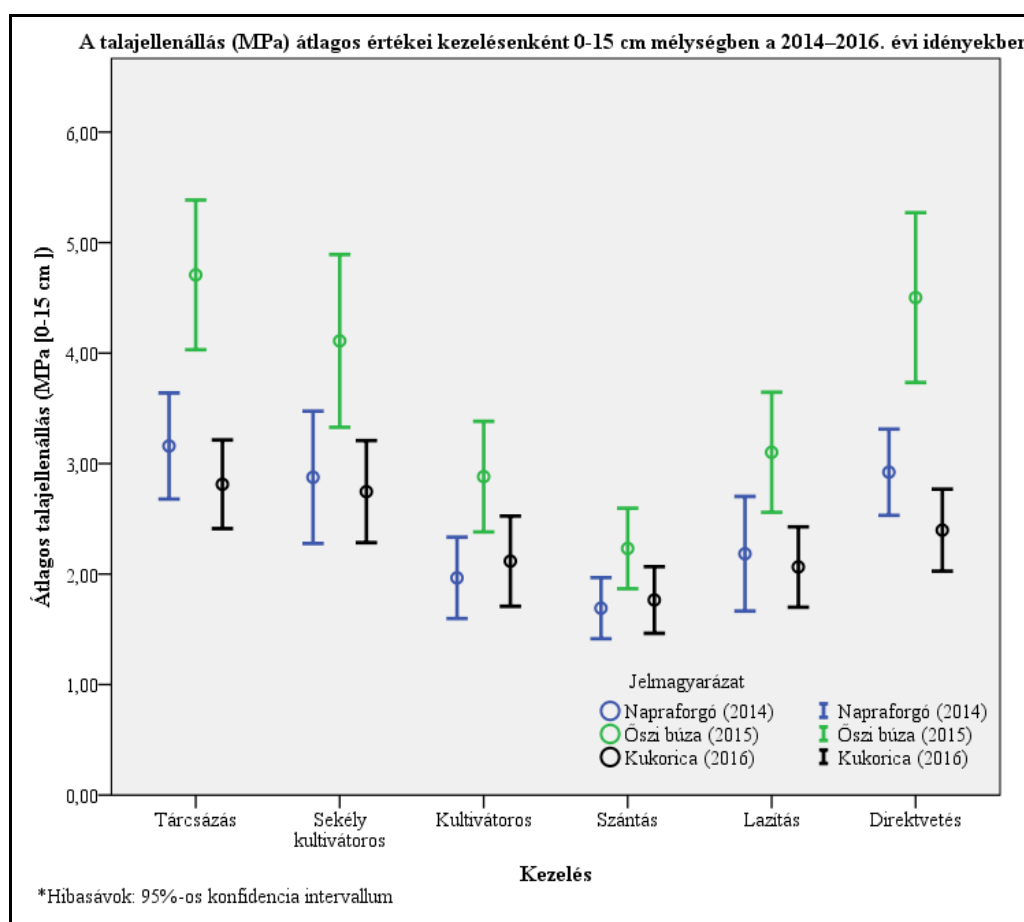
CSORBA és munkatársai (2011) az adott talajtípus nedvességoptimumát 22 m/m%-nál határozták meg, megfogalmazásuk alapján a talaj ekkor van nyirkos állapotában és művelhető a legjobban. Az általam vizsgált idények talajnedvességi adatai alapján minden kezelés átlagban meghaladta a 22 m/m% értéket. Megjegyzem, hogy a lehullott csapadék mennyisége háromból két idényben a sokévi átlag felett alakult (2014: +53,5 mm; 2016: +85 mm). Csúpan a 2015. évi idényben lehetett alacsonyabb nedvességet kimutatni őszi búza alatt, de a különbség elhanyagolható, annak ellenére, hogy a sokévi átlaghoz képest 142,5 mm-rel kevesebb csapadék hullott. Az őszi búza sűrű borítása, valamint a tarló mulcsos bolygatatlan pihentetése megakadályozta a mélyebb rétegek párolgási nedvességvesztését. A csekély párolgási veszteség, továbbá a jó beázás miatt a mélyebb (20 – 50 cm) rétegekben nem lehet minden esetben statisztikailag igazolható különbségeket kimutatni az idényekben.

Hasonló eredményre jutott FÖLDESI (2013) doktori értekezésében, csupán a 10 – 20 cm mélységben tapasztalt szignifikáns különbséget a vizsgált évek talajnedvesség adatai között, a 0 – 10 cm és a 20 – 50 cm mélységekben nem tudott statisztikailag igazolható különbséget kimutatni.

A tárcsás, a kultivátoros, a sekélykultivátoros művelés és a direktvetés 2015. idényben mért talajnedvesség adatai összeesengnek KALMÁR (2016), SHARMA et al. (2009) és ZSEMBELI et al. (2015) eredményeivel, akik ugyancsak nagyobb nedvességet mértek a csökkentett, kímélően művelt talajokban.

4.5 A talajellenállás vizsgálat eredményei

A talajellenállás vizsgálatok eredményeit a 11 – 13. ábrákon és a 4.6 mellékletben mutatom be. A mérések alkalmával 0 – 50 cm rétegben vizsgáltuk a talaj penetrációs ellenállását a lazult réteg-mélységének megállapítására. A talajellenállás átlagos értékeinek alakulását a 0 – 15 cm rétegben a 11. ábra mutatja. A vizsgált idények közül a 2016. évi tér el szignifikánsan a 2014-2015. évi idényekhez képest, amelynek oka a nedvesebb talaj lehet.



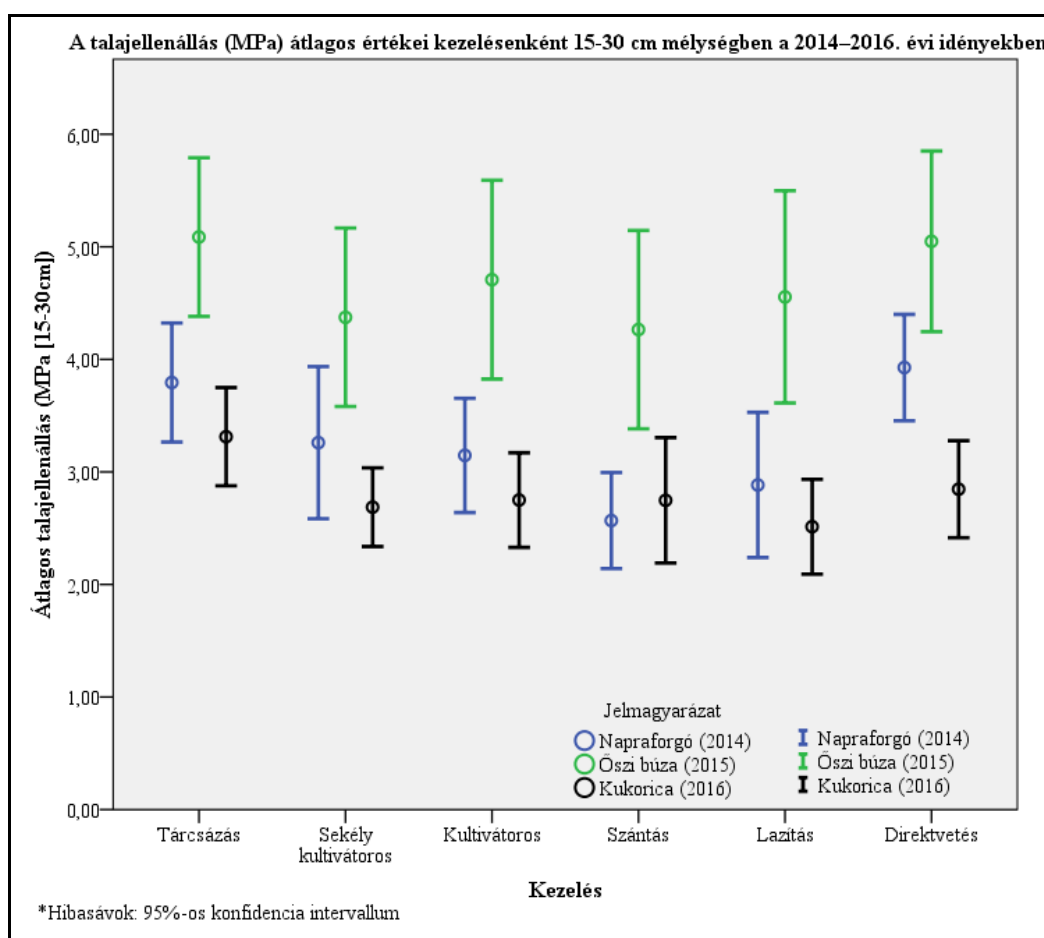
11. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezelésenként 0 – 15 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben

A 0 – 15 cm mélységet vizsgálva a napraforgó (2014) esetében szignifikánsan alacsonyabb volt a szántott talaj (1,69 MPa) penetrációs ellenállása a sekély kultivátoros (2,87 MPa) a direktvetés (2,92 MPa) és a tárcsázás (3,15 MPa) kezelésekhez viszonyítva. Igazolható volt a különbség a tárcsázás (3,15 MPa) és a kultivátoros (1,96 MPa) kezelések között is.

A 2015. ıdınyben őszi búza alatt is a szántott talaj tömörsége volt átlagosan a legkisebb a 0 – 15 cm mélységben (2,23 MPa), amely statisztikailag igazolható különbséget mutatott a tárcsázás (4,7 MPa), a sekély kultivátoros (4,1 MPa) és a direktvetés (4,5 MPa) kezelésekhez viszonyítva. A tárcsázott talaj (4,7 MPa) igazolhatóan tömörebb volt ebben a rétegben a kultivátoros (2,8 MPa) és a lazítás (3,1 MPa) kezelések talajainál.

A kukorica 2016. évi ıdınyében a szántott talaj igazolhatóan alacsonyabb értéket (1,76 MPa) mutatott a tárcsázott (2,81 MPa) és a sekély kultivátorral művelt (2,11 MPa) talajhoz képest.

A talajellenállás átlagos értékeinek alakulását a 15 – 30 cm rétegben a 12. ábra mutatja. A vizsgált ıdınyekben a 2016. évi értékek térnek el ugyancsak szignifikánsan a 2014-2015. évi ıdınyekhez képest ugyanúgy, mint a 0 – 15 cm rétegnél.

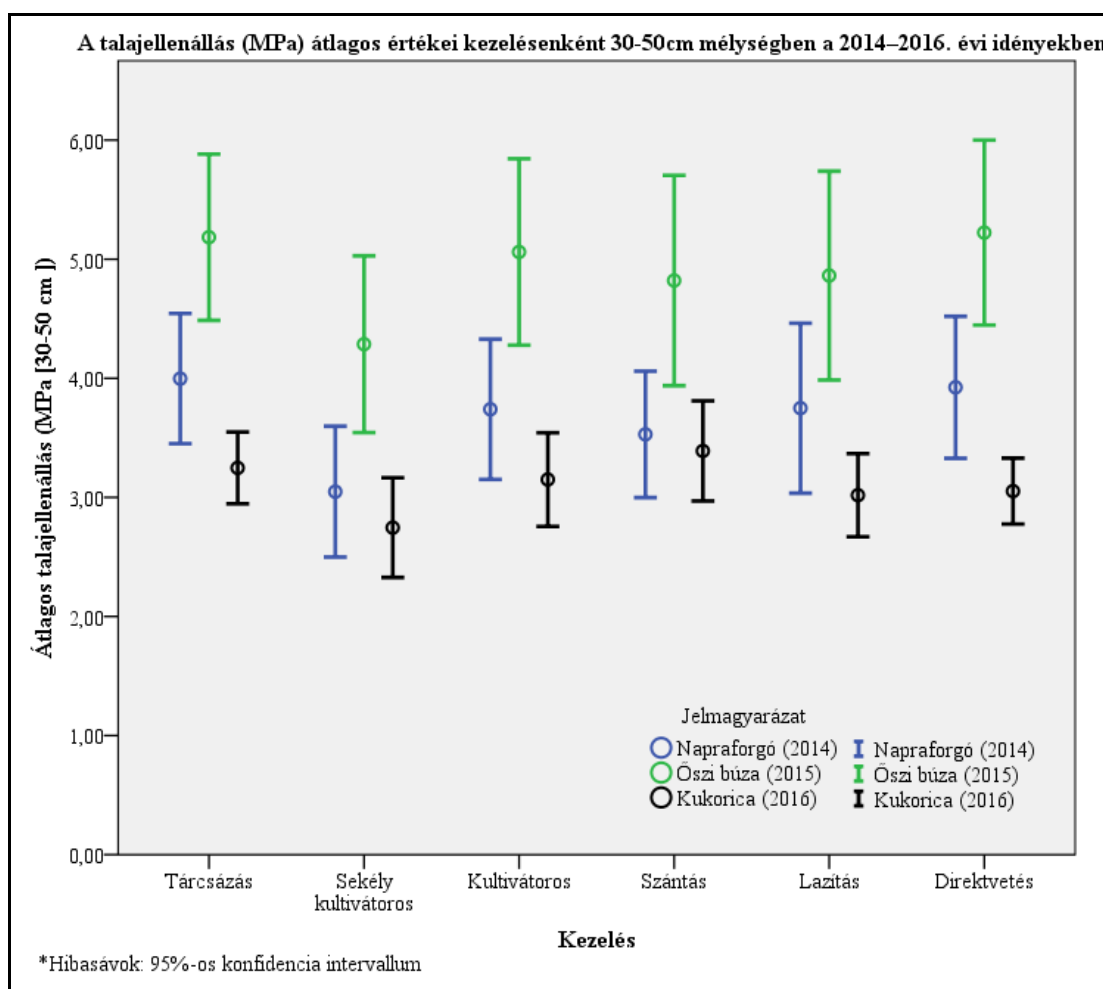


12. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezeléssenként 15 – 30 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi ıdınyeiben

A 15 – 30 cm rétegben (12. ábra) a 2014. évi idényben statisztikailag igazolható különbség csak a szántott (2,56 MPa), a direktvetéses (3,92 MPa) és a tárcsázott (3,79 MPa) talaj között mutatható ki, utóbbi két kezelés átlagosan jelentősen tömörebb volt a többi kezeléshez képest.

Az őszi búza (2015) idényében ebben a mélységben nem alakult statisztikailag igazolható különbség a kezelések között, amelynek oka a csapadékszegény idény lehetett. Legtömörebb volt a talaj a direktvetés (4,50 MPa) és a tárcsázás (5,01 MPa) kezeléseknél.

A 2016. évi idényben sem lehet szignifikáns különbségeket kimutatni a kezelések között a 15 – 30 cm rétegben, ennek oka a 2015. évi idénnyel ellentétben a talaj mély beázása lehetett. Mivel a sokévi átlaghoz képest +84 mm-rel több eső hullott, ezért a talajréteg az év folyamán végig nyirkos maradt, ezért sem alakulhatott ki jelentős különbség a kezelések között. A talaj nyirkosságára a 2016. évi talajnedvesség eredmények is (9. ábra) utalnak, az adatok között nem tudunk szignifikáns különbséget kimutatni.



13. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezelésként 30 – 50 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben

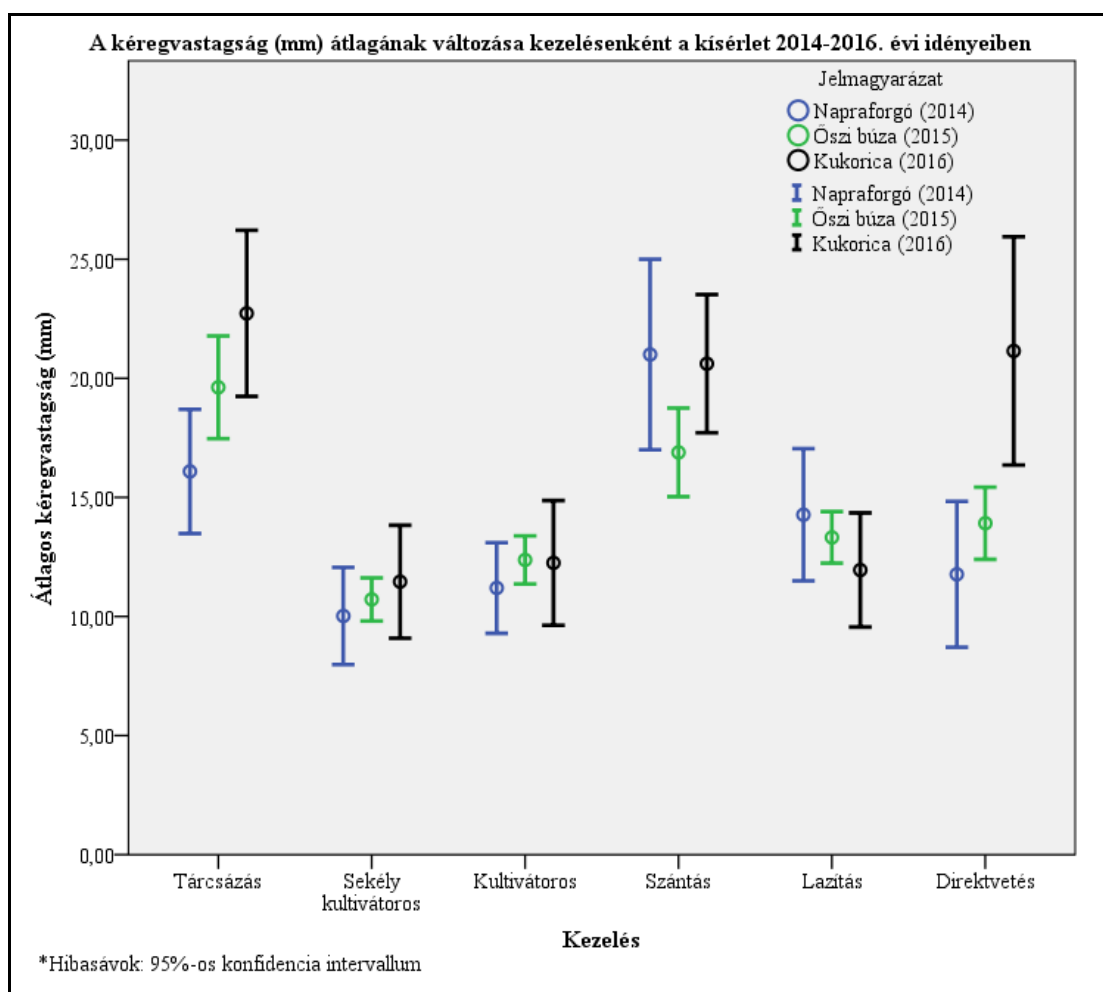
A 30 – 50 cm mélységben mért talajellenállás adatok (13. ábra) között egyik idényben sem alakult statisztikailag igazolható különbség a kezelések között. Az őszi búza idénye (2015)

azonban ebben a rétegben is szignifikánsan eltér a többitől, de a talajnedvesség adatokhoz hasonlóan egyéb kezelésenkénti különbségek nem igazolódtak, vélhetően a talaj adott rétegben tapasztalható állandó nyirkossága miatt. A 2014. évi idényben a legkisebb értéket a sekély kultivátoros (3,04 MPa), a legmagasabb értéket pedig a tárcsázás (3,99 MPa) kezelésekben mértük. A 2015. száraz idényben a két szélső értéket a sekély kultivátoros kezelés (4,28 MPa) és a direktvetés (5,22 MPa) kezelések eredményezték. Kukorica alatt 2016-ban a legalacsonyabb értéket ugyancsak a sekély kultivátoros (2,74) a legmagasabbat pedig a szántás (3,38 MPa) kezelések mutatták

A vizsgálati eredményeket figyelembe véve megállapítható, hogy a talaj tömörségére a kezelések általában a 0 – 30 cm rétegben voltak hatással, ennek oka a művelési mélység lehet. Megállapítható, hogy a talaj penetrációs ellenállását nagyban befolyásolja a talaj nedvességtartalma, ennek következtében a mélyebb nyirkosabb rétegekben nem lehet statisztikailag igazolható különbségeket kimutatni a kezelések között. Igazolódtak újra BEKE (2006) és MIKÓ (2009) eredményei is, véleményük szerint a talaj elleállás értékei szorosan függenek a talaj nedvességétől és más termőhelyi körülménytől (talaj, növény-hatás).

4.4. A kéregvastagság vizsgálatok eredményei

A kéregvastagság eredményeinek vizsgálatakor megállapítható, hogy mindhárom esztendőben szignifikáns különbségeket mértünk a kezelések között (4.7a-b melléklet). Szembetűnő eredmény, hogy a tárcsázás és a szántás kezelésekben a kéregvastagság mintegy tíz mm-rel nagyobb volt a többinél, emiatt a két művelés jól láthatóan elkülönül a többi kezeléstől (16. ábra). A tárcsázás mindhárom idényben 4–11 mm-rel vastagabb kérgesedést mutatott a kultivátoros művelésekhez képest. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a szántott talajon is, ahol 4–10 mm különbség alakult a kultivátoros művelésekhez képest. A lazítás a direktvetéssel azonos eredményeket mutatott mindhárom idényben. A direktvetéses talajon a 2016. idényben – az ismétlődő esőzéseknek betudhatóan – vastagabb kéreg alakult a felszínen, emiatt itt volt a legnagyobb változás a kiterjedésben. A tárcsázott és a szántott talajon 14–26 mm közötti kéregvastagság alakult, míg a kultivátoros műveléseknél mindhárom idényben 7–14 mm. A legkisebb idényen belüli ingadozást 2015-ben a sekély kultivátoros kezelésben lehetett regisztrálni.



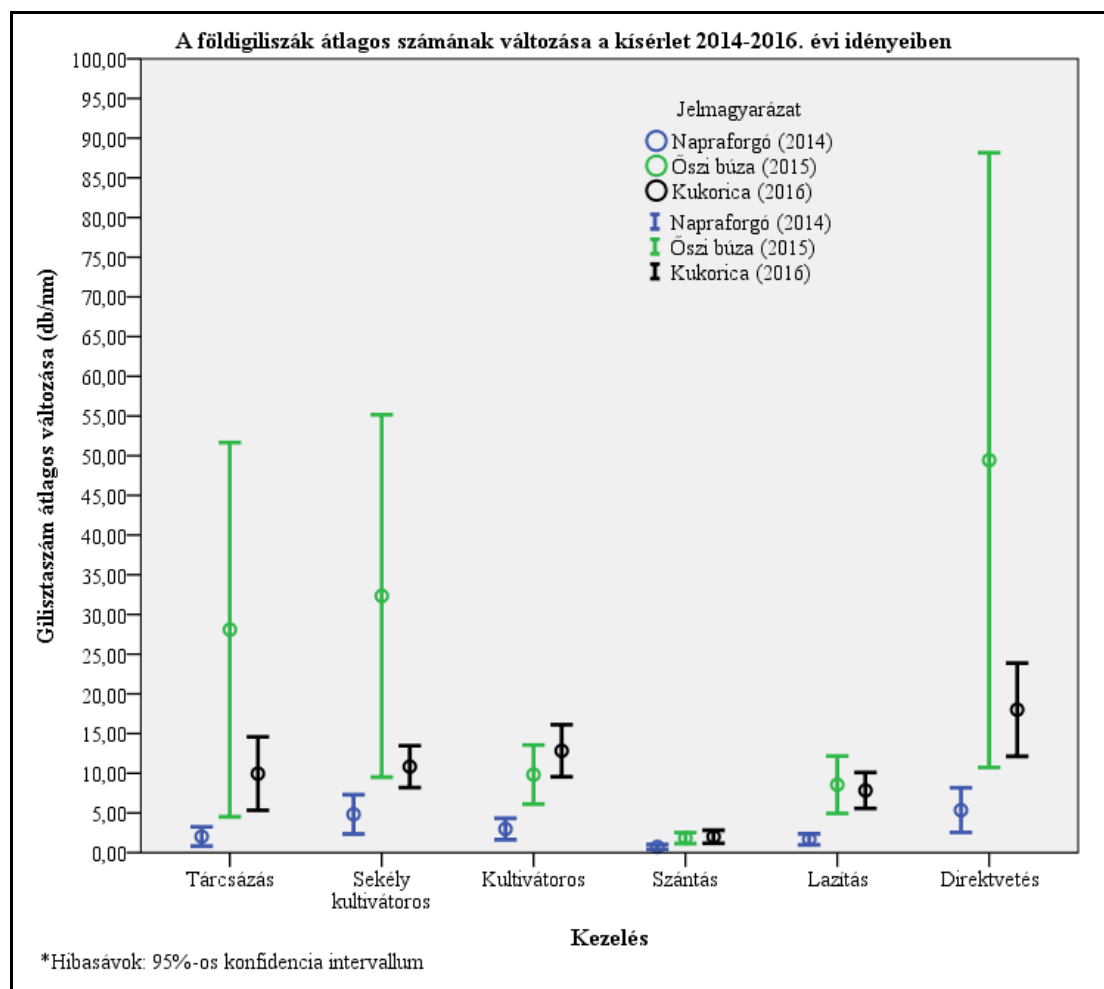
14. ábra: A kéregvastagság (mm) átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.

A BOTTLIK és munkatársai (2014) alapján elkészített kéregvastagsági skála alapján mindhárom idényben a sekély kultivátoros, a kultivátoros, a lazításos és a direktvetéses kezelések a „jól tűrhető”, míg a tárcsás és a szántásos alaptermővelések a „kockázatos” kategóriába sorolhatók.

4.5. A földigilisztaszám vizsgálatának eredményei

A földigiliszták egyedszámának vizsgálatából kitűnik, hogy szignifikáns különbség van a kezelések között (4.8a-b melléklet). A 2014. évi idényben főként a szántás különült el a többi kezeléstől, a sekély kultivátorostól és a direktvetéstől átlagosan -4 db/m^2 , a kultivátorostól -2 db/m^2 volt az átlagos elérés. A 2016. idényben ugyancsak a szántás tért el statisztikailag igazolhatóan a kultivátorostól -8 db/m^2 , valamint a lazítástól -6 db/m^2 . A 2016. évben kukorica alatt a szántás minden más műveléstől eltért a többi kezeléstől átlagosan -5 db/m^2 (lazítás) és -16 db/m^2 (direktvetés) egyedszámmal. Az idényen belüli ingadozásokat tekintve a szántott talaj mindig stabilan alacsony földigilisztaszámot eredményezett. A többi kezelés

egymáshoz viszonyítva hasonló értékeket mutatott, a szántáshoz viszonyítva átlagosan +5-5 db/m² volt a többlet. A legnagyobb ingadozás a gilisztaszámban a 2015. szárazabb időnyben állapítható meg, amikor is a tárcsázás a sekély kultivátoros kezelés és a direktvetés mutatott jelentős eltéréseket.



15. ábra: A földgiliszták számának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. időnyeiben.

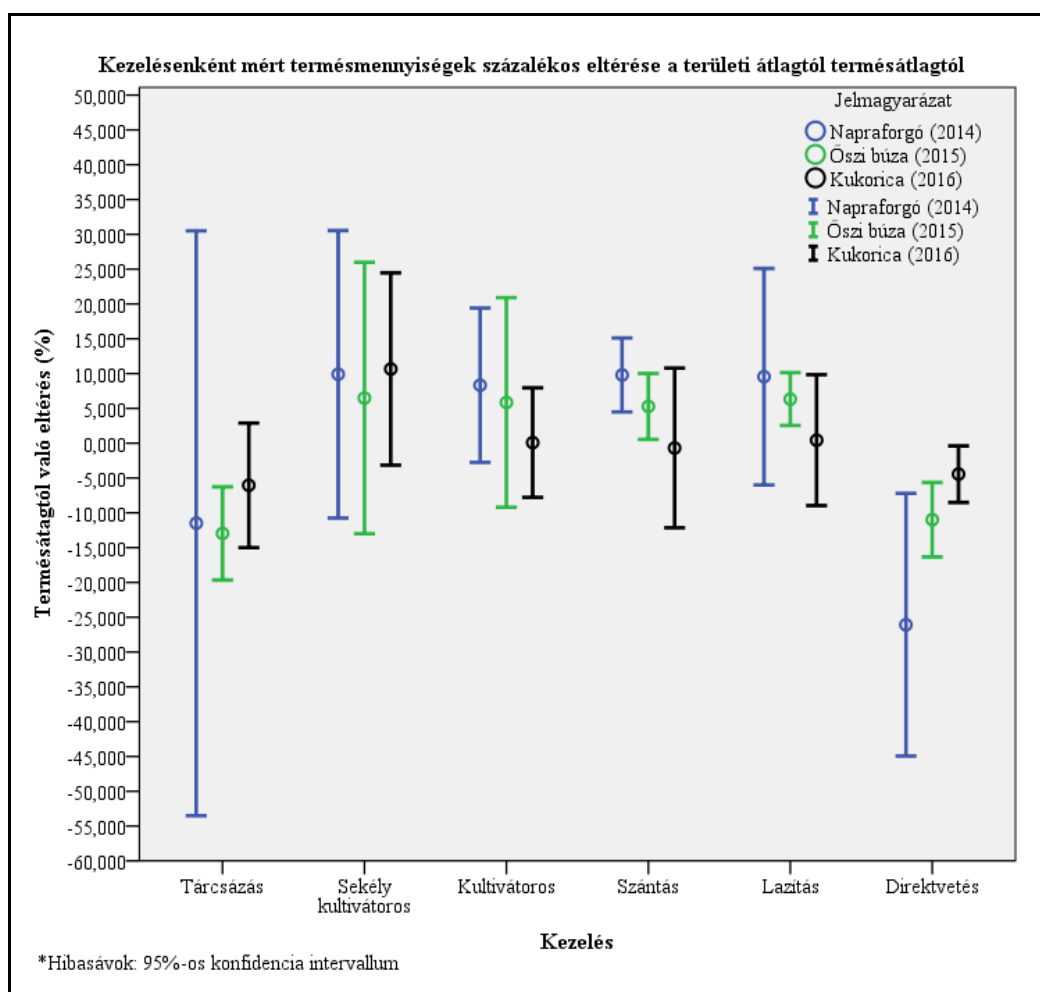
A direktvetésben volt a legnagyobb időnyen belüli eltérés mintegy 80 db/m² számmal (15. ábra), hasonló eredményt igazoltak korábbi vizsgálatok (PEIGNÉ et al., 2009; PELOSIA et al., 2016) is. Három év átlagában a kísérletben a szántott talajban volt a legkevesebb földgiliszta. Mint BOSTRÖM (1995) és CURRY (2004) megállapította, rövid távon a szántásos művelés csökkenti a földgiliszták számát a fizikai sérülések és a táplálék térbeli áthelyeződése miatt. Ugyanakkor az előbb idézett szerzőkhöz hasonlóan OLIVIERA et al. (2012) és CRITTENDEN et al. (2014) azt is állítják, hogy a földgiliszta populáció az 53. nap után visszaáll az eredeti denzitásba szinte a bolygatatlan, szántás előtti állapot egyedszámára. Jelen eredmények azonban az előbbiektől eltérően, ugyanis a tartamkísérlet vizsgált három időnyében a szántás átlagosan mindvégig a legalacsonyabb földgiliszta számot eredményezte

(2014: 0,7 db/m²; 2015: 1,8 db/m²; 2016: 2 db/m²), egyáltalán nem érte el a kevésbé bolygatott kezelésekre jellemző egyedszámot, valamint bolygatatlan talajban, a direktvetésben (2014: 5,3 db/m²; 2015: 18,7 db/m²; 2016: 18 db/m²) sem.

A vizsgálataink során az általunk feltárt talajmintákban a giliszták több mint 70%-a közönséges földgilisza (*Lumbicus terrestris*) fajba tartozott, de találtunk erdei gilisztát (*Lumbricus polyphemus*), rózsaszínű gilisztát (*Allolobophora rosea*), bűzgilisztát (*Allolobophora caliginosa*) és trágyagilisztát (*Eisenia fetida*) is.

4.5 A termés alakulása

A termések alakulását a 16. ábra mutatja. Az eredmények alapján látható, hogy az összterületi termésátlagtól mindhárom idényben főként a tárcsázás és a direktvetés tért el negatív irányban. A napraforgó esetében 2014-ben a direktvetés -26%-kal, míg a tárcsázás -11%-kal maradt el a kísérleti átlagtól, amely utóbbinak volt a legnagyobb a szórása. A direktvetésnek volt a második, a sekély kultivátoros művelésnek pedig a harmadik legnagyobb a szórása.



16. ábra: A termésátlagtól való eltérése kezelésként a kísérlet 2014–2016. idényeiben.

A 2015. évben az őszi búzával ugyancsak a tárcsázás és a direktvetés termése maradt a kísérleti átlag alatt -12% és -10%-kal. A legnagyobb szórást a sekélykultivátoros és a kultivátoros művelések mutatták, amely vélhetően a tábla sajátosságával magyarázható. A harmadik idényben (kukorica, 2016) a tárcsás művelés -6%-kal a direktvetés -4,5%-kal volt az átlag alatt a termésben. Összességében elmondható, hogy a két legkisebb talajbolygatás esetén alakult a legkevesebb termés. A legstabilabb és legjobb eredményeket három év átlagában a kultivátoros és a sekélykultivátoros alpművelésben lehetett elérni.

4.6. A MANOVA vizsgálat eredményei

Vizsgáltuk többtényezős varianciaanalízissel (MANOVA) a növényállomány, az alpművelés és a vegetációs időszakban hullott csapadék együttes hatásait a kísérlet során mért paraméterekre négy féle variációban, amely értékelés eredményeit a 9. táblázatban és az M4.9 mellékletben foglalom össze.

9. táblázat: A növényállomány, az kezelések és a vegetációs időszak csapadékanak kölcsönhatásai a vizsgált változókra (2014-2016, Hatvan, Józsefmajor)

	<i>Növény & Művelési kezelés</i>	<i>Növény & Vegetációs időszak csapadéka</i>	<i>Művelési kezelés & Vegetációs időszak csapadéka</i>	<i>Növény & Művelési kezelés & Vegetációs időszak csapadéka</i>
<i>Por %</i>	,000	,048	,000	,011
<i>Aprómorzsa %</i>	,012	,477^{ns}	,013	,027
<i>Morzsa %</i>	,002	,442^{ns}	,000	,004
<i>Rög %</i>	,000	,247^{ns}	,165^{ns}	,171^{ns}
<i>Kéreg vastagság</i>	,002	,828^{ns}	,000	,684^{ns}
<i>Gilisztaszám</i>	,000	,000	,000	,000
<i>Talajnedvesség 0-15cm</i>	,001	,000	,000	,002
<i>Talajnedvesség 15-30 cm</i>	,000	,000	,000	,000
<i>Talajnedvesség 30-50 cm</i>	,000	,230^{ns}	,000	,001
<i>Talajellenállás 0-15 cm</i>	,000	,000	,000	,006
<i>Talajellenállás 15-30 cm</i>	,003	,000	,000	,000
<i>Talajellenállás 30-50 cm</i>	,205^{ns}	,000	,000	,409^{ns}
<i>Termés</i>	,591^{ns}	1,000^{ns}	1,000^{ns}	1,000^{ns}

ns: nem szignifikáns; $p > 0,05$

A MANOVA vizsgálat és a mért eredményeink alapján a termesztett növény és a művelési kezelés közös hatást gyakorol minden vizsgált paraméterre, kivéve a 30–50 cm mélyen mért penetrációs ellenállást és a termésátlagot. Az előbbi eredményre indokot adhat, hogy 30 cm

alatt a legtöbb kezelés mérsékeltebb hatású, valamint a termesztett növények gyökértömegének jelentős hányada is e mélység felett található a talajban.

A termesztett növény és a vegetációs időszakban hullott csapadék nem fejt ki igazolható közös hatást a talaj szerkezetére, ugyanis az aprómorzsa, a morzsa és a rögfrakció vizsgálata nem mutatott szignifikáns különbséget. Nem tudtam igazolható különbséget kimutatni a kéregvastagságra, a 30–50 cm mélységben mért talajnedvességre és a termésátlagra. Utóbbi eredmény valószínűleg abból ered, hogy a növényzet gyökértömegének jelentős része 30 cm mélység felett található a talajban, továbbá, hogy 30 cm mélység alatt kiegyenlítődik és stabilizálóik a talaj nedvességtartama a kapilláris vízemelés, csapadék leszivárgása és a kis párolgási veszteség miatt.

A művelési kezelések és a vegetációs időszakban hullott csapadék azonban minden esetben igazolható, közös hatást fejtett ki a vizsgált paraméterekre, a rögfrakció arány és a termés kivételével. A művelés, bár befolyásolja a rögösséget, a lehullott csapadék érdemben nem képes a nagyobb rögeket aprózni.

A termesztett növény, a vegetációs időszakban mért csapadék és a művelési kezelések együttesen nem gyakoroltak hatást a vizsgálat eredménye és a mért értékek alapján a rögfrakció arányára, a kéregvastagságra, a 30–50 cm mélységben mért penetrációs ellenállásra és a termésre. A kéregvastagságot, bár a csapadék mennyisége, eloszlása, intenzitása befolyásolja, a kérgesedést gátolja a termesztett növény típusa, valamint a porosodáson keresztül az alapművelés intenzitása. A penetrációs ellenállást egyedül a mélyebb művelés volt képes befolyásolni a 30–50 cm mélységben.

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a termés alakulására nem igazolható közös hatás a művelési kezelés, a csapadék és a termesztett növény egyik kombinációjában sem. Ugyanis a termést nem csak az évjárat (BEKE 2006), a tápanyagellátás hatása befolyásolja, valamint a csapadék mennyisége, mint ahogyan azt MÁRTON (2002) megfogalmazta, hanem a csapadék eloszlása, intenzitása és a vetett faj és fajta genetikája is. Az adatokból jól kitűnik, hogy az művelési kezelés és a termesztett növény van a legnagyobb igazolható hatással a talaj szerkezetére, makrofaunájára, nedvesség forgalmára és lazultságára.

4.7. Pearson-féle korrelációs együttható-mátrix számításának eredményei

A Pearson-féle korrelációs együttható két változó közötti összefüggés erősségét, irányát és valóságát mutatja meg. Több mátrixtáblázatot (10 – 12. táblázatok), amelyekben a kísérlet során vizsgált paraméterek kiszámított összefüggéseit (r) mutatom be. Kiemeltem és

csillaggal jelöltem azon összefüggéseket, amelyek korrelációs együtthatói szignifikánsak. Sok esetben találtunk szignifikáns eredményt a korrelációk számítása során, azonban mérsékelt számú esetben nem tudtunk $r=0,2$ feletti vagy szignifikáns korrelációt bizonyítani. GUILFORD (1950) és SAJTOS-MITEV (2007) alapján, ha $r \geq |0,2|$, akkor a kapcsolat legalább közepes erősséggel értékelhetőnek tekinthető, ha az eredmény szignifikáns.

10. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2014. évi mérési eredményei között, napraforgó esetében

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2	,334**														
3	-,390**	-,416**													
4	,033	,050	-,644**												
5	-,257**	-,258**	,153	,152											
6	-,351**	-,243**	,193*	,213*	,772**										
7	-,253**	-,176*	,050	,217**	,646**	,828**									
8	,023	,001	,061	-,056	-,001	,208*	,311**								
9	,177*	,186*	-,249**	,075	-,361**	-,301**	-,199*	-,138							
10	,235**	,136	,049	-,264**	-,285**	-,257**	-,081	,000	,000						
11	-,165*	-,078	,501**	-,316**	,005	-,032	-,260**	,006	-,417**	-,127					
12	-,017	,074	-,009	-,035	-,361**	-,339**	-,455**	-,175*	,224**	-,216**	,244**				
13	-,017	,027	,148	-,094	-,253**	-,318**	-,483**	-,360**	,173*	-,212*	,379**	,725**			
14	-,059	,039	,000	-,103	-,211*	-,388**	-,454**	-,738**	,132	-,069	,240**	,415**	,595**		
15	,138	,088	-,570**	,244**	-,278**	-,176*	,025	,396**	,341**	,016	-,448**	,043	-,253**	-,281**	

1. Por %, 2. Aprómorzsa %, 3. Morzsa %, 4. Rög %, 5. Talajjellenállás 0-15 cm, 6. Talajjellenállás 15-30 cm, 7. Talajjellenállás 30-50 cm, 8. Csapadék: T-7, 9. Csapadék: havi, 10. Termés, 11. Gilisztaszám, 12. Talajnedvesség 0-15 cm, 13. Talajnedvesség 15-30 cm, 14. Talajnedvesség 30-50 cm, 15. Kéreg vastagság, mm; N=144; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$

A 2014. évben a vizsgált paraméterek közötti összefüggések vizsgálata alapján (10. táblázat) az tapasztalható, hogy $r \geq |0,2|$ feletti szignifikáns összefüggés mutatható ki a porfrakció aránya (1), az aprómorzsa (2; $r_{1:2}=0,334$), és a termés (10; $r_{1:10}=0,235$) között. Negatív összefüggés mutatható ki a különböző mélységekben mért talajjellenállás értékek között: 0–15 cm (5; $r_{1:5}=-0,257$), 15–30 cm (6; $r_{1:6}=-0,351$), 30–50 cm (7; $r_{1:7}=-0,253$).

Az aprómorzsa frakció (2) érdemi negatív összefüggést mutatott a morzsafrakcióval (3; $r_{2:3}=-0,416$), valamint a talajjellenállás értékeivel: 0–15 cm (5; $r_{2:5}=-0,258$), 15–30 cm (6; $r_{2:6}=-0,243$).

A morzsafrakció (3) esetében jelentős pozitív összefüggés volt kimutatható a földgilisza számmal (11; $r_{3:11}=0,501$). Negatív összefüggés volt a rögfrakció (4; $r_{3:4}=-0,644$) és a

kéregvastagság (15; $r_{3:15}=-0,570$) között, továbbá a havi csapadék (9; $r_{3:9}=-0,249$) tekintetében szerényebb negatív korreláció volt kimutatható.

A 0–50 cm mélységben mért penetrációs ellenállás (5-7) tekintetében javarészt a mélységek, a rétegek egymásra gyakorolt hatása figyelhető meg, ezért lehet a 0-15 cm és a 15-30 cm mélységekben mért penetrációs ellenállás értékeknek szoros az összefüggése ($r_{5:7}=0,646$ $r_{6:7}=0,828$) a 30-50 cm mélységben mért talajellenállással (7).

A csapadékot illetően (8-9) negatív összefüggést figyeltünk meg a gilisztaszám (11; $r_{9:11}=-0,417$), a 15–30 cm mélység (13; $r_{8:13}=-0,360$), a 30–50 cm mélység (14; $r_{9:14}=-0,738$), valamint pozitív összefüggést a kéregvastagsággal (15; $r_{8:15}=0,396$). A gilisztaszám (11) pozitív korrelációt mutatott a mért talajnedvesség értékek alakulásával ($r_{11:12}=0,244$; $r_{11:13}=0,379$; $r_{11:14}=0,240$), azonban negatív összefüggést a kéregvastagsággal (15; $r_{11:15}=-0,448$).

11. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2015. évi mérési eredményei között, őszi búza esetében

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2	,056														
3	-,577**	-,663**													
4	-,331**	-,691**	,274**												
5	-,398**	,016	,165*	,157											
6	-,379**	,084	,117	,099	,756**										
7	-,388**	,069	,068	,193*	,728**	,921**									
8	-,578**	,218**	,150	,055	,471**	,647**	,694**								
9	-,584**	-,403**	,424**	,630**	-,063	-,116	-,063	,145							
10	-,090	,222**	-,012	-,226**	-,358**	-,093	-,125	,000	,000						
11	,330**	-,135	,126	-,284**	-,341**	-,417**	-,456**	-,280**	-,286**	-,183*					
12	,204*	-,110	,012	-,053	-,446**	-,715**	-,731**	-,354**	,272**	-,213*	,441**				
13	,326**	-,179*	,077	-,154	-,553**	-,783**	-,845**	-,600**	,080	-,029	,482**	,825**			
14	,447**	-,062	-,101	-,220**	-,690**	-,831**	-,859**	-,724**	,018	,071	,430**	,720**	,869**		
15	,598**	-,109	-,385**	,066	-,079	-,183*	-,134	-,292**	-,241**	-,436**	,205*	,159	,154	,173*	

1.Por %, 2. Apró Morzsa %, 3. Morzsa %, 4.Rög %, 5.Talajellenállás 0-15 cm, 6.Talajellenállás 15-30 cm, 7.Talajellenállás 30-50 cm, 8.Csapadék: T-7, 9.Csapadék: havi, 10.Termés, 11.Gilisztaszám, 12. Talajnedvesség 0-15 cm, 13. Talajnedvesség 15-30 cm, 14. Talajnedvesség 30-50 cm, 15. Kéreg vastagság, mm; N=144; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$

A 2015. évben az őszi búza termesztése során (11. táblázat) gyűjtött adatok elemzésekor kiemelkedően sok tényező között volt igazolható szignifikáns, korreláció $r \geq |0,3|$ szinten. A porfrakció (1) az aprómorzsa (2) és a termés (10) kivételével minden vizsgált faktorról összefüggést mutatott. A legerősebb összefüggéseket pozitív irányban a 30–50 cm mélységben mért talajnedvesség (14; $r_{1:14}=0,447$) és a kéregvastagság esetében (15;

$r_{1:15}=0,598$) mértük, továbbá negatív irányban a mérés előtti hétben esett és a havi csapadék (8,9; $r_{1:8}=-0,578$; $r_{1:9}=-0,584$) és a morzsafrakció (3; $r_{1:3}=-0,577$) esetében igazoltuk.

Az aprómorzsza (2) erős, de negatív korrelációt mutatott a morzsza (3; $r_{2:3}=-0,663$) és a rög (4; $r_{2:4}=-0,691$) frakciókkal, továbbá a havi csapadékkal (9; $r_{2:9}=-0,403$). Ezzel szemben a morzsafrakció (3) pozitív összefüggést mutatott a havi csapadékkal (9; $r_{3:9}=0,424$), amint a rögfrakció (4; $r_{4:9}=0,630$) is, de negatív összefüggés volt tapasztalható a kéregvastagsággal (15; $r_{3:15}=-0,385$).

A három mélységben mért talajellenállás (5-7) egymással összefüggés mutatott, amint a talajnedvesség értékek is (12-13), amely a fizikai elhelyezkedésükből és kialakulásukból adódik. Megemlítendő, hogy a mérés előtti hétben esett csapadék (8) mindhárom eredménnyel összefüggést mutat $r_{5:8}=0,471$, $r_{6:8}=0,647$, $r_{7:8}=0,694$. Erős negatív korrelációs összefüggés van a három mélységben mért talajellenállás (5-7) és nedvességi (12-14) adatok ($r_{5:12}=-0,446$; $r_{5:13}=-0,553$; $r_{5:14}=-0,690$; $r_{6:12}=-0,715$; $r_{6:13}=-0,783$; $r_{6:14}=-0,831$; $r_{7:12}=-0,731$; $r_{7:13}=-0,845$; $r_{7:14}=-0,859$), valamint a talajellenállás értékek és a gilisztaszámok (11; $r_{5:11}=-0,341$; $r_{6:11}=-0,417$; $r_{7:11}=-0,456$) között. A gilisztaszámok a talajnedvesség adatokkal pozitív korrelációt mutattak: $r_{11:12}=0,441$; $r_{11:13}=0,482$; $r_{11:14}=0,430$.

12. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2016. évi mérési eredményei között, kukorica esetében

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2	-,361**														
3	-,636**	-,241**													
4	-,193*	-,705**	,238**												
5	,266**	-,204*	-,269**	,186*											
6	,419**	-,349**	-,280**	,203*	,773**										
7	,312**	-,439**	-,076	,279**	,559**	,739**									
8	-,152	-,132	,049	,329**	-,298**	-,148	,041								
9	,133	-,094	-,029	-,012	,406**	,405**	,387**	-,355**							
10	-,396**	,280**	,319**	-,171*	,046	-,120	-,043	,000	,000						
11	,055	,516**	-,303**	-,508**	-,415**	-,473**	-,508**	-,044	-,375**	-,062					
12	-,114	,239**	-,057	-,134	-,638**	-,626**	-,513**	,145	-,404**	-,083	,613**				
13	-,130	,283**	,054	-,274**	-,658**	-,691**	-,617**	-,147	-,364**	-,024	,640**	,859**			
14	-,183*	,284**	,099	-,249**	-,709**	-,746**	-,643**	-,159	-,395**	,004	,614**	,785**	,943**		
15	,691**	-,522**	-,315**	,129	,412**	,578**	,509**	-,080	,228**	-,277**	-,376**	-,304**	-,359**	-,418**	

1. Por %, 2. Apró Morzsza %, 3. Morzsza %, 4. Rög %, 5. Talajellenállás 0-15 cm, 6. Talajellenállás 15-30 cm, 7. Talajellenállás 30-50 cm, 8. Csapadék: T-7, 9. Csapadék: havi, 10. Termés, 11. Gilisztaszám, 12. Talajnedvesség 0-15 cm, 13. Talajnedvesség 15-30 cm, 14. Talajnedvesség 30-50 cm, 15. Kéreg vastagság, N=144; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$

A kukorica esetében, a 2016. évi idényben mért adatok korrelációs mátrix elemzése alapján (12. táblázat) megállapítható, hogy a porfrakció aránya (1) kiemelkedően erős pozitív összefüggést mutatott a kéregvastagsággal (15; $r_{1:15}=0,691$), és negatív összefüggést a morzsafrakció arányával (3; $r_{1:3}=-0,636$). Az aprómorzsza frakció aránya (2) szoros összefüggést mutatott a gilisztaszámmal (11; $r_{2:11}=0,516$), továbbá szoros, de negatív összefüggést a kéregvastagsággal (15; $r_{2:15}=-0,522$) és a rögfrakcióval (4; $r_{3:4}=-0,705$), amely utóbbival a gilisztaszám (11) ugyancsak erős negatív összefüggést mutatott ($r_{4:11}=-0,508$).

A három különböző mélységben mért talajellenállás (5-7) egymással erős összefüggést mutatott, amint az ugyanebben a mélységben mért talajnedvesség értékek (12-14) is, ellenben a talajellenállás és a nedvesség értékek között negatív összefüggés volt kimutatható. A penetrációs ellenállás értékek esetében mindhárom mélységben negatív közepes erősségű összefüggés volt kimutatható a gilisztaszám (11; $r_{11:5}=-0,415$; $r_{11:6}=-0,473$; $r_{11:7}=-0,508$), valamint pozitív összefüggés a kéregvastagság (15; $r_{5:15}=0,412$; $r_{6:15}=0,578$; $r_{7:15}=0,509$) között. A kéregvastagság (15) a nedvességtartalommal (12-14) és a gilisztaszámmal (11) is negatív összefüggést mutatott ($r_{15:12}=-0,304$; $r_{15:13}=-0,359$; $r_{15:14}=-0,418$; $r_{11:15}=-0,376$), a havi csapadékkal (9; $r_{9:15}=0,228$) ellenben gyengén pozitívot.

4.8. A főkomponens-analízis eredményei

A főkomponens-analízis eredményét a 13. táblázatban mutatom be. Az analízis célja az általam vizsgált változók önálló csoportokba rendezése, megkönnyítve az eredmények jobb értelmezhetőségét és elősegítve az átláthatóságukat. A vizsgálat eredményeként a tizenhárom változóból négy főbb komponenst tudtam elkülöníteni, amelyek az összes magyarázó erő mintegy 75,155%-át tudták megőrizni. Cél volt a talajok klímaérzékenységet befolyásoló tényezők csoportosítása a könnyebb értelmezhetőség érdekében.

Az első csoportba (plaszcitás) kerültek a 0–50 cm mélységben mért talajnedvességi és talajellenállási értékek. Az analízisből látszik, hogy a talajellenállás fordítottan arányosan alakul a talaj nedvességtartalmához, vagyis, ha a talajnedvesség növekszik, az ellenállása csökken. A második csoport (eliszapolódás) tartalmazza a porfrakció arányát és a kéregvastagságot, mindkét változó egyenesen arányos egymáshoz viszonyítva, azaz, ha a porfrakció aránya nő, megfelelő körülmények között a kéregvastagság is nagyobb lesz. Az eredmény összefüggésben van a 4.7. fejezetben bemutatott eredményekkel, valamint a szakirodalmi adatokkal, mint például VAN DER WATT és VALENTIN (1992) vagy BÜHMANN és munkatársai (1996).

13. táblázat: A kísérletben mért adatok alapján elkészített főkomponens analízis eredményei

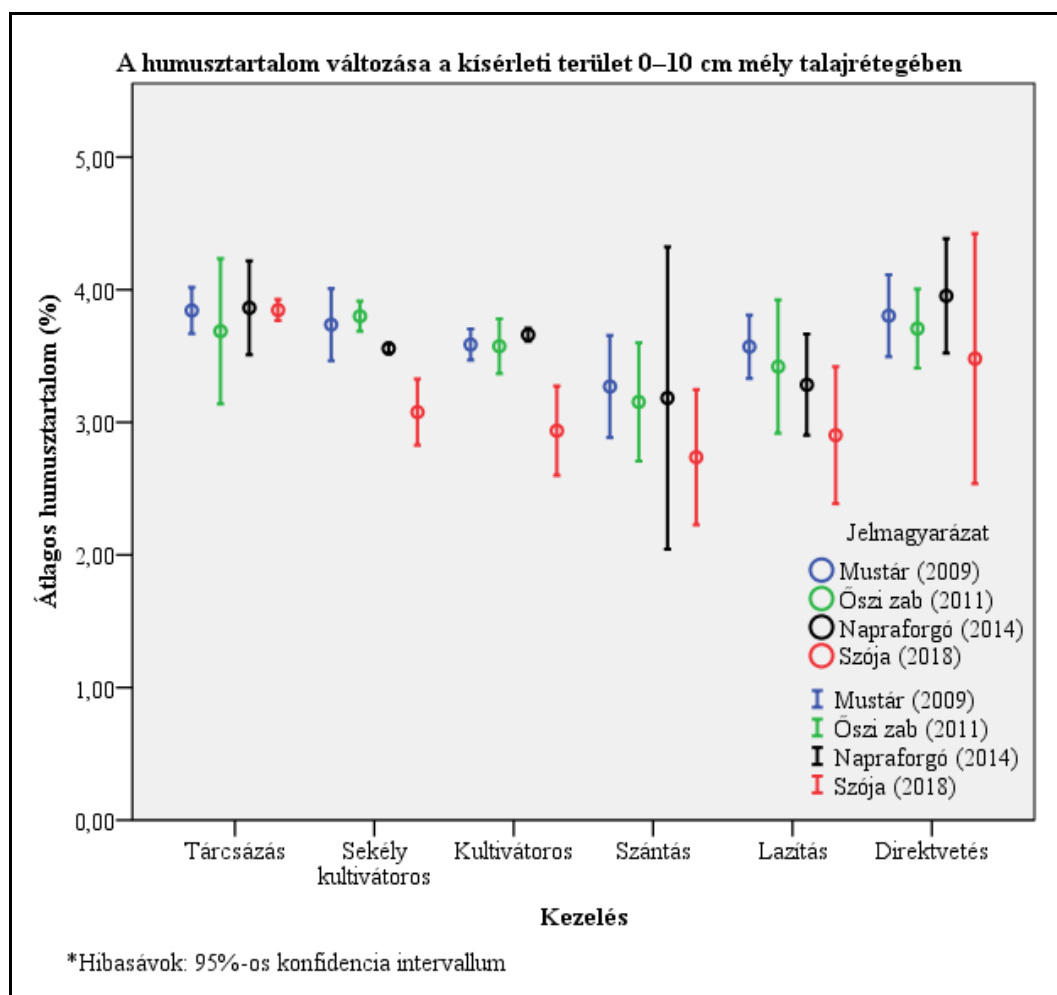
	Faktorok			
	Plaszticitás	Eliszapolódás	Szerkezet leromlás	Biota aktivitás,
<i>Por %</i>		,839		
<i>Aprómorzsa %</i>			-,925	
<i>Morzsa %</i>			,729	
<i>Rög %</i>			,548	
<i>Kéregvastagság</i>		,867		
<i>Gilisztaszám</i>				,719
<i>Talajnedvesség 0-15 cm</i>	,805			
<i>Talajnedvesség 15-30 cm</i>	,878			
<i>Talajnedvesség 30-50 cm</i>	,847			
<i>Penet. ellenáll. 0-15 cm</i>	-,819			
<i>Penet. ellenáll 15-30 cm</i>	-,915			
<i>Penet. ellenáll 30-50 cm</i>	-,902			
<i>Havi csapadékmennyiség</i>				-,699

A harmadik csoport (szerkezet leromlás) tartalmazza a talaj szerkezet makró alkotóit az aprómorzsa, morzsa és rögrakciókat. Az aprómorzsa frakció negatív előjele azt mutatja, hogy az aprómorzsa képződés fordított arányban áll a morzsa- és rögrakciók képződésével. A negyedik csoportba (Biota aktivitás) került a földigiliszták száma és a havi csapadék mennyisége. A két változó között fordított arány figyelhető meg, magas egymás közötti összefüggés mellett. A mért földigilisztaszám és az egyenlőtlen csapadékeloszlás ismeretében az eredmény alapján kijelenthető, hogy a csapadék átlagtól való pozitív ingadozása negatívan befolyásolja a földigiliszták populáció méretét, mivel a túl nedves vagy túl száraz talaj kedvezőtlen közeg a földigiliszták számára.

Összességében megállapítható, hogy ha a talaj aktuális kondícióját a lehetőségekhez mérten leegyszerűsítve akarjuk jellemezni, akkor a létrejött négy főkomponens (a talaj plaszticitása, eliszapolódása, szerkezetének leromlása, biota aktivitása) alapján következtethetünk a többi vizsgált változó állapotára és a talaj általános egészségére is. A létrehozott főbb komponensek ismeretében egyszerűbben ki tudjuk jelölni, vizsgálni vagy javítani a szükséges elemeket, a talajokon keletkező klímakárok mértékének csökkentése érdekében.

4.9 Humusztartalom vizsgálat eredményei

A 17 – 22. ábrákon bemutatam a 2009 és 2018 között a tartamkísérletben végzett talajvizsgálatok 0–40 cm mélységre vonatkozó eredményeit. A humusztartalom vizsgálatához kapcsolódó statisztikai táblázatokat a M4.10 számú melléklet tartalmazza. A jelen dolgozat alapjául szolgáló 2014. és 2018. évi talajvizsgálatok jobb értelmezése érdekében az ábrákon jelölöm a korábbi 2009. és 2011. évi kapcsolódó talajvizsgálati eredményeket is.

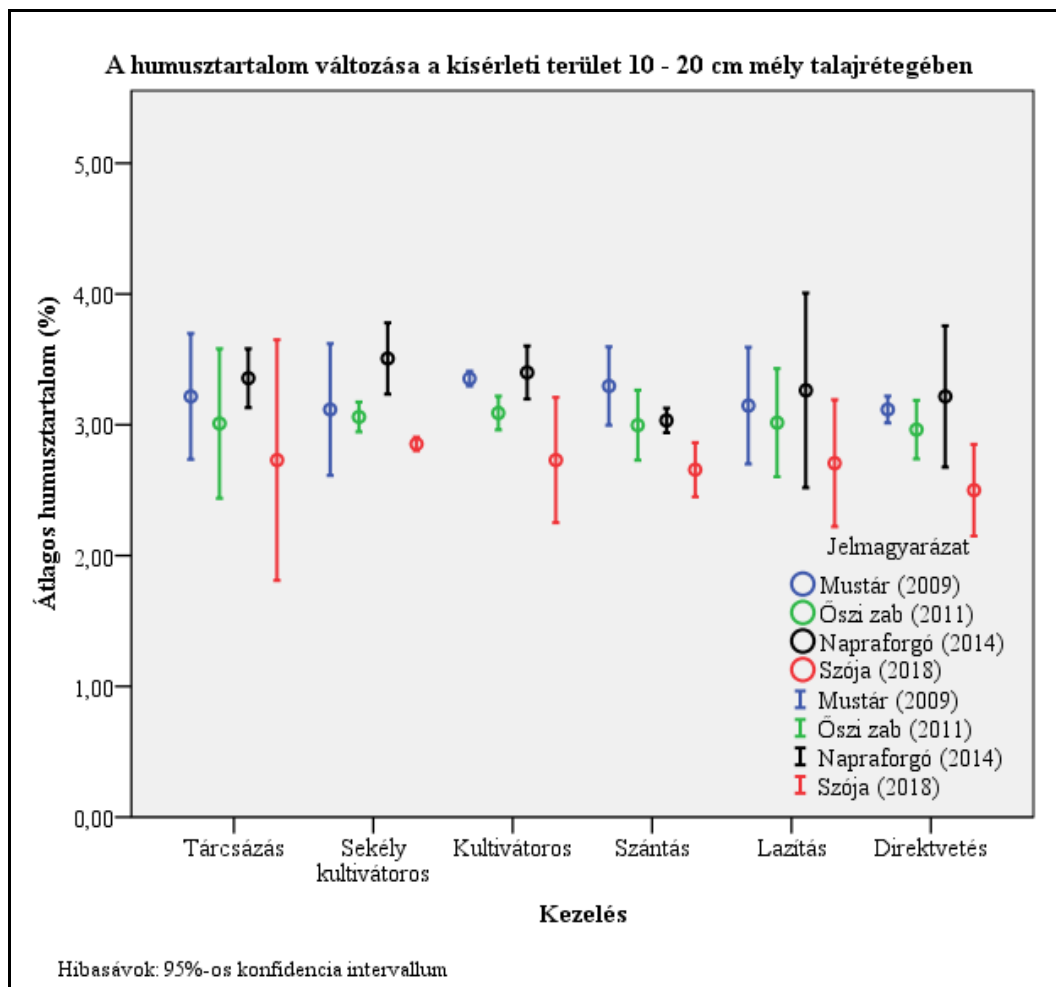


17. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 0–10 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.

A 0–10 cm mélységből vett mintákban (17. ábra) a 2014. évben végzett vizsgálatok során statisztikailag igazolható különbség van a két kultivátoros kezelés között, továbbá a kultivátoros (3,6%) és a lazításos (3,2%) művelések között. Az utolsó vizsgált idényben (2018, szója) a tárcsás művelés (3,8%) szignifikánsan eltér a direktvetéses (3,4%) kezelés kivételével az összestől.

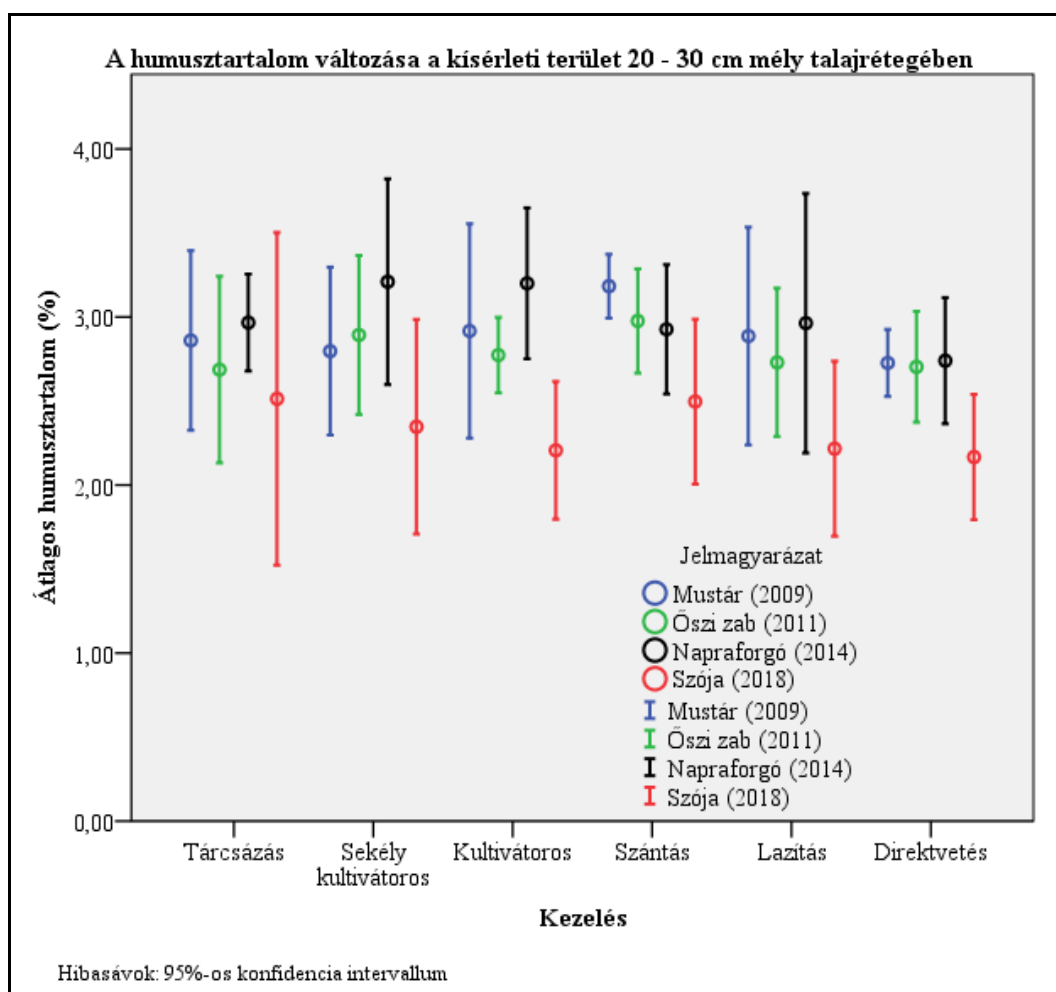
A legmagasabb humusztartalmat 0–10 cm rétegben a direktvetéses kezelésben (4,15%) mértük 2014-ben.

A legnagyobb szórást (2014. idény) és a legalacsonyabb humusztartalmat (2,54%, 2018) a szántott talajban tapasztaltuk annak ellenére, hogy a tartamkísérletben a jó gyakorlatot követve egyengetjük a felszínt minden bolygatás után, következésképpen igazolást nyert újból a szántás szén és szervesanyag-vesztő tulajdonsága.



18. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 10–20 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.

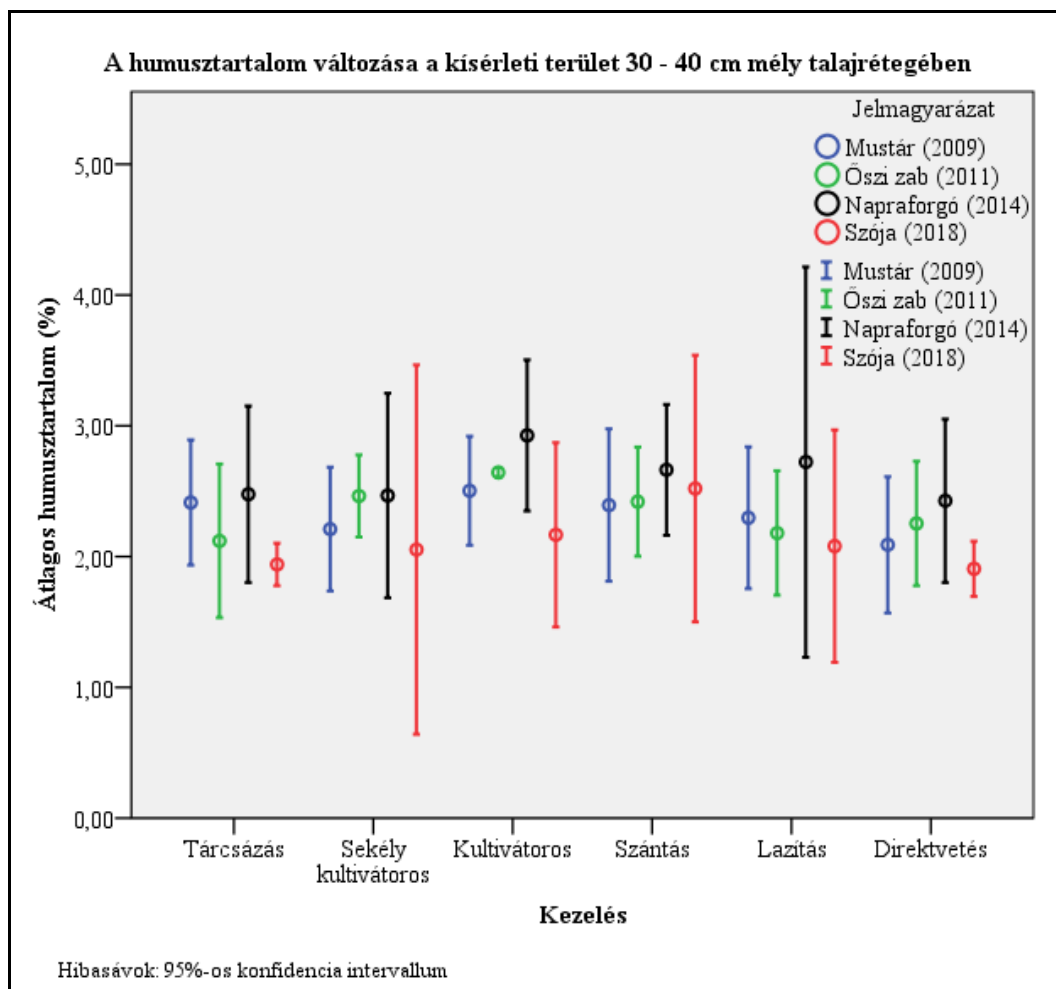
A 10–20 cm mélységben a kezelések közötti különbségek kisebbek (18. ábra). Egyértelmű szignifikáns különbség a 2014. évi napraforgó esetében figyelhető meg. A szántásos művelés (3,05%) jelentősen alacsonyabb humusztartalommal rendelkezett ebben a mélységben, mint a tárcsás (3,3%) vagy a sekély (3,5%) és a mély kultivátoros (3,4%) művelések. A legkisebb szórása minden vizsgált idényben a kultivátoros művelésnek volt, a legnagyobb szórást pedig a tárcsás művelésnél tapasztalhatjuk a 2009, 2011 és 2018 években, míg 2014-ben a lazításos művelés mutatott nagy ingadozást az ismétlések között. A legalacsonyabb humusztartalmat ebben a rétegben a direktvetéses kezelésben regisztráltuk (3,04%) 2018-ban szója növény esetében, a legmagasabb értéket pedig a sekélykultivátoros (3,64%) művelésben 2014-ben, napraforgó esetében.



19. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 20–30 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.

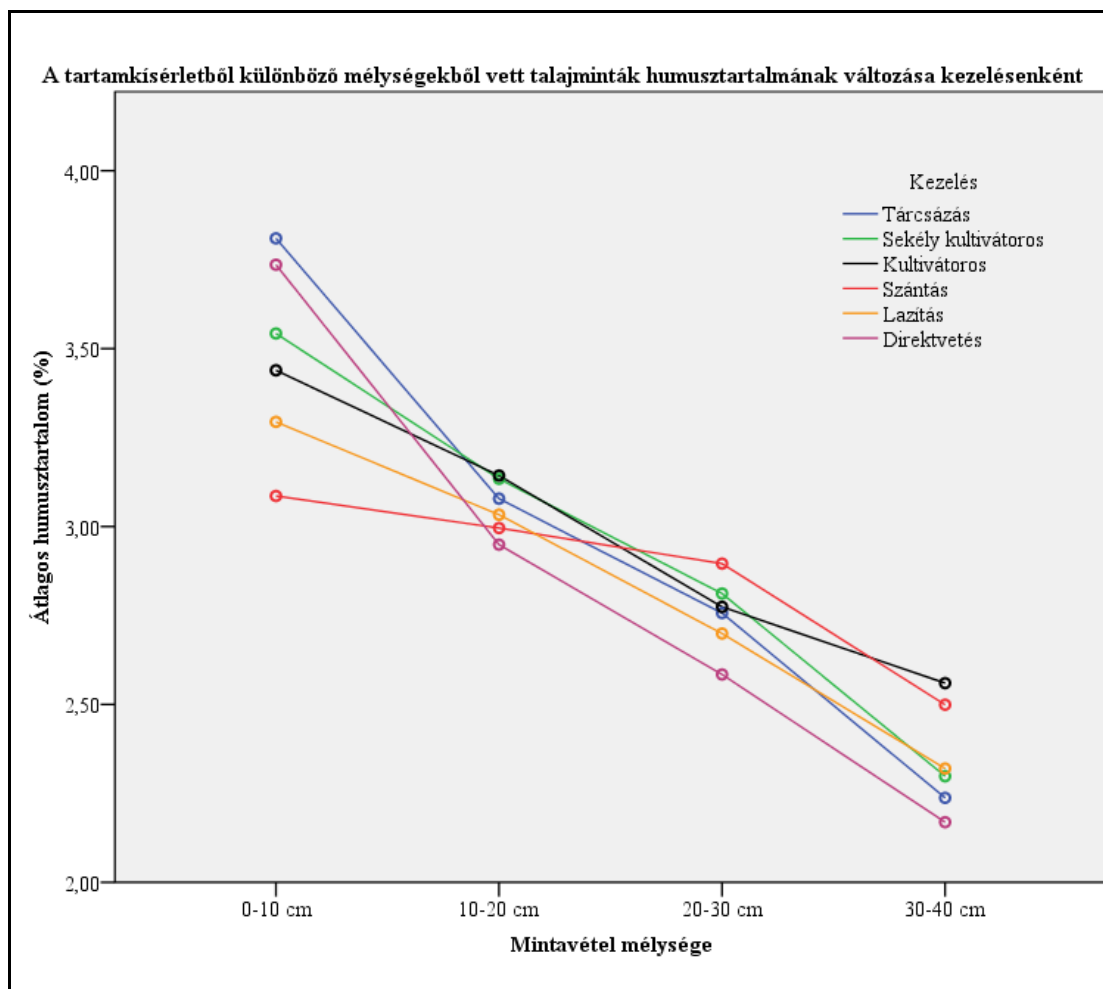
A 20–30 cm mélységre a magasabb szórás értékek kimutathatósága jellemző (19. ábra). A legnagyobb szórás a tárcsás alpművelésnél látható 2018-ban, a legkisebb szórás pedig a direktvetésnél és szántásnál 2009-ben. A művelések között a humusztartalom tekintetében szignifikáns különbséget ebben a mélységben nem tudunk egyértelműen megállapítani, azonban az idények között statisztikailag igazolható különbség alakult.

Ebben a mélységben a legkisebb értéket 2018-ban mértük a lazításos (1,98%), míg a legmagasabb értéket 2014-ben a sekélykultivátoros (3,47%) kezelésben. A direktvetéses kezelésben 2009 és 2014 között szinte csaknem ugyanazt a humusztartalmat lehetett mérni ebben a mélységben, mindhárom idényben (2009: 2,72%; 2011: 2,70%; 2014:2,74%), amely e mélységet tekintve a talaj bolygatatlanságára utal.



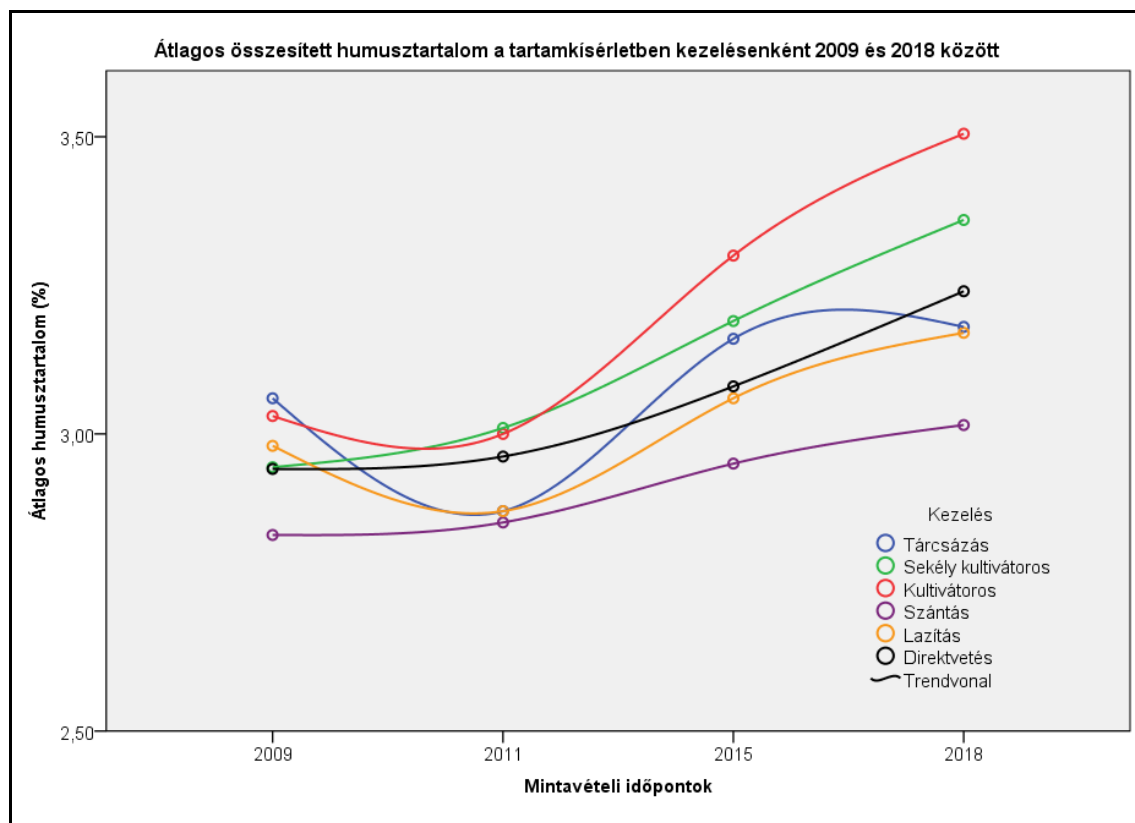
20. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 30–40 cm mély rétegében 2009 és 2018 között

A 30–40 cm mélység (20. ábra) humusztartalmára jellemző, hogy javarészt 2,5% alatt alakul, a magas szórásértékek miatt a statisztikailag igazolható különbségek kimutathatósága nehéz. A legnagyobb szórása a lazításos kezelésben volt 2014-ben, míg a legkisebb a kultivátoros kezelésben 2011-ben. A legmagasabb humusztartalmat a kultivátoros művelésben (3,19%) mértük 2014-ben napraforgó alatt, míg a legkisebbet ebben a mélységben a direktvetés (1,82%) esetében 2018-ban.



21.ábra: A humusztartalom (%) változása a kísérletben, különböző talajmélységekben kezelésenként

A 21. ábráról kitűnik, hogy a négy idény átlagában a humusztartalom a mélység változásával csökkent. A 0–10 cm mélységben mért 3,6–3,9% humusztartalom a 30–40 cm mélységben 1,8 – 2,6%-ot ért el. A legsekélyebb csökkenő görbét a szántott talajban figyelhetjük meg, amely a talaj rendszeres 0–40 cm mély forgatásának a hatása. A legmeredekebben csökkenő egyenest a tárcsás művelésnél és direktvetés esetében figyelhetjük meg, azok csekély bolygatása miatt. A 21. ábra újólal igazolja, hogy a humusztartalom a talajban lassan vagy egyáltalán nem mozog a különböző mélységű talajrétegek között. A humusztartalom homogén eloszlási állapotát a talajban vélhetően csak jól keverő műveléssel érhetjük el.



22. ábra: A humusztartalom mélységként összesített változása a tartamkísérletben 2009 és 2018 között

A 22. ábrán összegezve, átlagolva mutatom be a tartamkísérlet kezeléseiből vett többszöri talajmintavétel humusztartalomra vonatkozó eredményeit. A grafikon adatpontjai az adott kezelésből vett mélységkénti átlagmintákat összegezve mutatják. A mintavételek időnyeiben fehér mustár (2009), tavaszi zab (2011), őszi búza (2015) és szója (2018) volt vetve.

A 2009. évi talajvizsgálat után 2011-ben minden kezelésben visszaesés volt tapasztalható a talaj humusztartalmában. A 2015. idényben a humusztartalom a legtöbb kezelésben elérte a hat évvel korábbi mintavétel által mért eredményeket. A legmagasabb értéket a kultivátoros kezelés érte el (3,3%), a legalacsonyabbat a szántás (2,95%). A tárcsás művelés (3,18%) közelítőleg hasonló eredményt mutatott a sekély kultivátoros kezeléshez (3,19%), míg a direktvetés (3,08%) a lazításos műveléssel (3,06%) közel hasonló eredményt ért el.

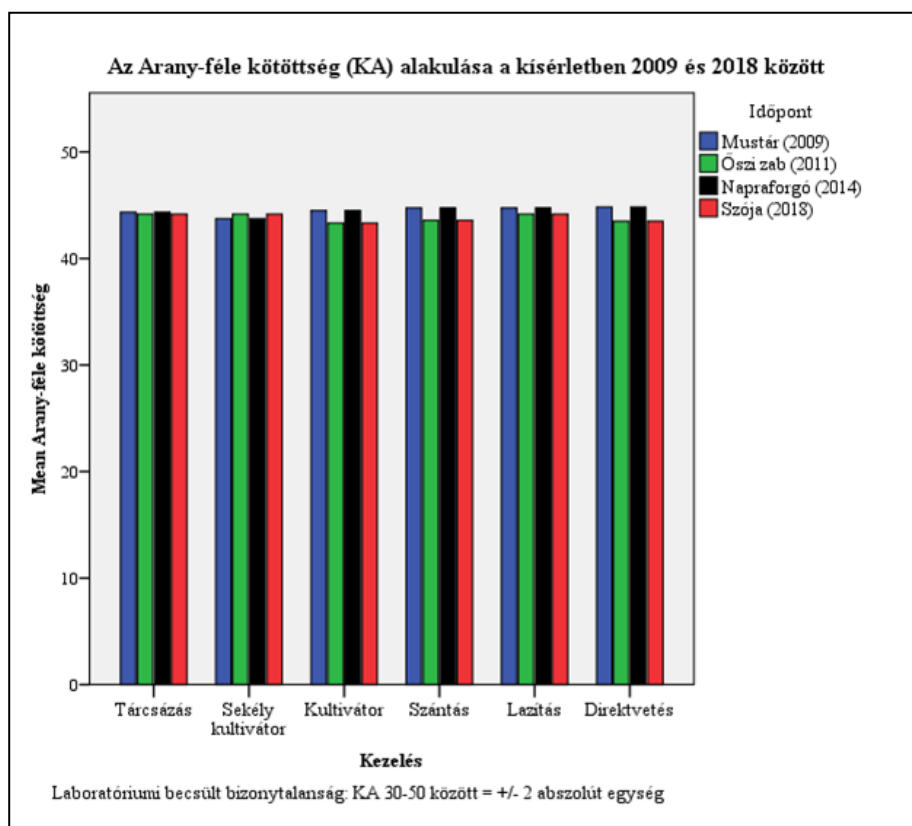
A legutóbbi 2018-ban vett talajmintavétel esetében további lassú növekedés volt tapasztalható a tárcsázás kivételével, ahol minimális csökkenés következett be (3,16%), tehát hasonló eredményt mértünk, mint a lazításos kezelésben (3,17%). A két kultivátoros művelés magasan kiemelkedik a kezelések közül (kultivátoros: 3,51%; sekély kultivátoros: 3,36%), a

direktvetéses kezelés pedig a harmadik legjobb eredményt mutatta a 3,24% átlagos humusztartalommal.

Az eredmények alapján kitűnik a mintavételek között bár ingadozó, de összességében lassan emelkedő trend, amely annak tudható be, hogy a tartamkísérletben 2002 óta minden idényben mulcshagyásos, szervesanyag kímélő művelés valósult meg. Ennek köszönhetően a MÉM NAK (1978) alapján 2018-ra minden alapművelési kezelés elérhette a „jó” kategóriába történő besorolást a humusztartalom tekintetében. A kísérlet kezdetekor még minden parcella talaja „közepes” besorolásúnak számított. A szakirodalmi adatoknak megfelelően (BIRKÁS 2005; BIRKÁS et al., 2006; BATIONO et al., 2007; NAAB et al., 2015; SLEPETIENE et al., 2015) jelen kísérletben is érvényesült, vagyis a hosszútávú kímélő talajművelés és képes a talaj humusztartalmának bizonyos mértékű növelésére.

4.10 Arany-féle kötöttség vizsgálatának eredményei

A talajmintavételek alkalmával a talaj Arany-féle kötöttsége (KA) is vizsgálatra került. A vizsgált évek eredményei K_A 42 és 46 között alakultak, amely eredményt megerősít GULYÁS (2017) és a korábbi Geoderma Bt. (2006) vizsgálata is. A kezelések között szignifikáns különbség nem állapítható meg (M4.11 melléklet).



23. ábra: A talaj Arany-féle kötöttsége a kísérletben, eltérő művelés esetén, 2009 és 2018 között.

A 23. ábra azt mutatja, hogy a kezelések közötti az adott vizsgálati évben nincs jelentős különbség. Az oszlopdiagram ingadozásai a mérési időpontok között mutatnak különbséget, amelynek oka lehet a kísérleti terület talajának esetleges inhomogenitása, mintavételi hiba vagy a laboratóriumi vizsgálat bizonytalansága (K_A 30-50 között ± 2 abszolút egység) lehet. A kapott eredmények alapján a 2011. évi és a 2018. évi talajvizsgálatok során mért Arany-féle kötöttség átlagosan alacsonyabb volt, mint a 2009. és a 2014. évi, de az eredmények nem szignifikánsak. Megköszönhető, hogy a humusztartalom növekedése hatással van a K_A értékek csökkenésére (KEMENESY 1972), ennek bizonyítása azonban további vizsgálatokat igényel.

4.11 Művelési teljesítményrangsor

A teljesítmény rangsor elkészítésekor a kezeléseket az összességében mutatott teljesítményük szerint rangsoroltam. Minden változónál megadtam ún. iránymutatót, amely azt határozta meg, hogy a szakirodalmi és tapasztalati ismeretek szerint az adott változó esetében a magasabb vagy az alacsonyabb érték, rangsorban betöltött hely a kedvezőbb. A rangsorolás eredményeit a 14. táblázatban és a 24. ábrán mutatom be.

14. táblázat: Az egyszerű rangsorolás eredményei a kísérlet összegzett adatai alapján (Hatvan-Józsefmajor, 2014-2016)

	<i>T</i>	<i>SK</i>	<i>K</i>	<i>SZ</i>	<i>L</i>	<i>DV</i>	<i>Irány</i>
<i>Por %</i>	5	1	3	6	4	2	1
<i>Aprómorzsa %</i>	6	2	3	4	4	1	1
<i>Morzsa %</i>	5	1	2	6	4	3	0
<i>Rög %</i>	6	1	1	5	3	4	1
<i>Kéreg vastagság</i>	6	1	2	5	4	3	1
<i>Gilisztaszám</i>	5	3	2	6	4	1	0
<i>Talajnedvesség 0-15cm</i>	2	3	4	6	4	1	0
<i>Talajnedvesség 15-30 cm</i>	2	4	3	6	5	1	0
<i>Talajnedvesség 30-50 cm</i>	4	6	1	3	2	5	0
<i>Penet. ellenáll. 0-15 cm</i>	6	4	2	1	3	5	1
<i>Penet. ellenáll 15-30 cm</i>	6	4	3	1	2	5	1
<i>Penet. ellenáll 30-50 cm</i>	6	5	3	1	1	4	1
<i>Átlagos humusztartalom</i>	3	2	1	4	6	5	0
<i>Termés</i>	6	1	3	4	2	5	1
<i>Σ Total Rangsor</i>	6	2	1	5	4	3	1

Irány: 1 – kisebb érték a jobb, 0 – nagyobb érték a jobb

T-Tárcsázás, Sk-Sekély kultivátoros, K-Kultivátoros, Sz-Szántás, L-Lazítás, Dv-Direktvetés

A porfrakciót illetően összességben a sekélykultivátoros művelés mutatta a legjobb eredményt a kezelések között, azaz itt keletkezett a legkevesebb por. Az utolsó helyre a szántás került, vagyis újra igazolódtak a szakirodalmi leírások, amely szerint a szántás porosító művelés (BIRKÁS et al., 2011; CSORBA et al., 2011; FÖLDESI 2013). Az aprómorzsa frakció arányban a direktvetés volt a legjobb, itt keletkezett a legkevesebb aprómorzsa, ugyanakkor a tárcsás művelés az utolsó helyre került.

A morzsa és rögfракció értékelésekor az első helyre a sekélykultivátoros művelés került a kultivátorossal együtt, vagyis a kultivátor alkalmazásakor keletkezik a legtöbb morzsa és a legkevesebb rög. Előbbinél a szántás volt a legrosszabb, míg utóbbinál a tárcsázás.

Kéregvastagság tekintetében a sekélykultivátoros művelés volt a kedvezőbb, itt volt a leggyengébb a kérgesedés, ellenben a legtöbb és legvastagabb kéreg a tárcsázott, továbbá a szántott talajon jött létre. A szántás az utolsó helyre került a gilisztaszám tekintetében is, vele ellentétben a direktvetéses bizonyult a legjobb élőhelynek a kísérlet három éve alatt.

A talajnedvességben a 0–15 cm és a 15–30 cm mélységben a direktvetésben észleltük a legmagasabb értékeket, míg a legkisebbet a szántott talajban. A 30–50 cm mélységnél a kultivátoros kezelés került az első helyre és a sekélykultivátoros az utolsóra.

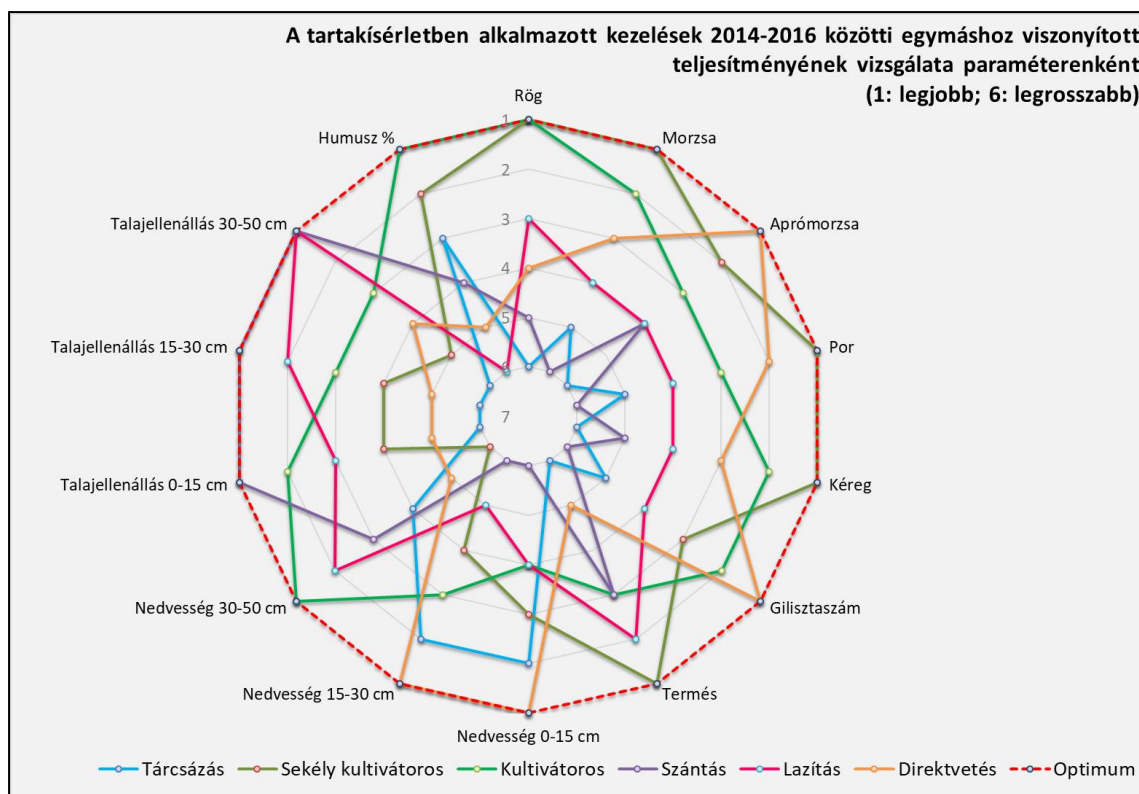
A talaj penetrációs ellenállása mindhárom mélységben (0–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm) a többi kezeléshez viszonyítva a szántott talajban volt a legalacsonyabb, míg a legmagasabb értékek mindhárom mélységben a tárcsával művelt talajban alakultak.

Az 0–40 cm mélységre vonatkozó átlagos humusztartalom a kultivátoros majd a sekélykultivátoros kezelésekben volt a legmagasabb. A rangsorban a tárcsázás került a harmadik helyre. A szántás a negyedik, míg a direktvetés a rangsorban az ötödik helyet érte el. A lazítás került az utolsó helyre humusztartalom tekintetében, amelynek oka egyrészt az elmunkálás hiánya, másrészt a mélyebb rétegig ható bolygatás lehet. Ezen felül a lazításos kezelés ismétlései között volt a legnagyobb a szórás, amely befolyásolhatta a rangsorban elfoglalt helyét. A termésben a sekélykultivátoros művelésben realizálódott a legmagasabb hozam a három vizsgált év átlagában, legalacsonyabb pedig a tárcsával művelt talajban.

A teljesítmény rangsort az (15. táblázat) összegzett eredmények kumulálása és újbóli rangsorolása után állítottam fel. Az elkészült rangsor alapján nem csak az adott kezelés talajra gyakorolt összhatását és teljesítményét jelzi, hanem sorba rendezi a vizsgált művelési módokat azok klimatikus károokra való érzékenységük alapján is.

A kezelések rangsora az alábbiak szerint alakult (csökkenő sorrendben):
Kutivátoros>Sekélykultivátoros>Direktvetés>Lazítás>Szántás>Tárcsázás.

A három vizsgált év átlagában a vizsgált paraméterek alapján a legjobb talajállapotot a kultivátoros alapműveléssel érték el, amelyet szorosan követett a sekélykultivátoros művelés, vagyis ezek a kezelések voltak a legkevésbé érzékenyek a vizsgált időszakban a klímakárok kialakulására (24. ábra).



24. ábra: A tartakísérletben mért paraméterek teljesítményének ábrázolása a kísérlet 2014-2018. éveiben (1: legjobb érték – 6: legrosszabb érték).

15. táblázat: A tartamkísérletben vizsgált kezelések teljesítményrangsora és klímaérzékenysége 2014 és 2016 közötti időszakban

Rangsor	Kezelés	klímaérzékenység (-)
1	Kultivátoros	
2	Sekélykultivátoros	
3	Direktvetés	
4	Lazítás	
5	Szántás	
6	Tárcsázás	
		klímaérzékenység (+)

A legrosszabb eredményeket és értékeket a tárcsázott és a szántott talajokban lehetett mérni, vagyis ezek a módok vélhetően a legérzékenyebbek az extrém időjárási események által kialakuló klímakárookra. Megjegyzendő, hogy a lazításos művelés a negyedik helyet érte el az összesített rangsorban, míg a direktvetés azt megelőzőve a harmadik helyre került. Az eredmények alapján megerősíthető, hogy a lazításos művelés elsősorban csapadékos időjárást követően szükséges az ülepedés megszüntetésére. Ugyanakkor nem hanyagolható el a direktvetés talajkímélő hatása a gyenge termések ellenére. A három vizsgált év átlagában termésbiztonságot és jó talajállapotot a kísérlet során vizsgált Hatvan térségi Endocalcic chernozem talajon a kultivátoros művelésekkel lehet elérni.

4.12 Új tudományos eredmények

1. A termesztett növény, a talajművelés és a csapadék kombinációinak vizsgálatával igazoltam a vegetációs időben hullott csapadék és a növény jótékony hatását a talaj szerkezetére, továbbá a művelés és a termesztett növény kedvező hatását a talaj nedvességére és penetrációs ellenállására.
2. A talajműveléshez szorosan kötődő tényezőket a korábbiaktól eltérően jelöltem ki. A talaj plaszticitása, eliszapolódása, szerkezetének leromlása és bióta aktivitás meghatározása a klímakár jelenségek felismerésére irányíthatja a figyelmet.
3. Szoros összefüggést mutattam ki a felszíni kérgesedés és a talaj aprómorzsa és portartalma között, igazoltam a kedvező morzsáság szerepét a kéregképződés megelőzésében, továbbá bizonyítottam a kéregvastagság befolyását a földigilisztaszámra.
4. Talajminőség tényezők elemzésének segítségével igazoltam a kultivátoros művelés időjárási jelenségeket és az évhatást toleráló szerepét, továbbá tartós kedvező hatását a termést befolyásoló fizikai és biológiai talaj jellemzőkre.
5. Bizonyítottam a talaj humusztartalmának növekedését 16 éve tartó humusz-kímélő művelések alkalmazása esetén.
6. Nem találtam összefüggést a talaj Arany-féle kötöttsége (K_A) és a művelési kezelések között, ugyanakkor a humusztartalom növekedésnek betudhatóan kismértékű K_A csökkenést kimutattam.
7. A Hatvan térségi csernozjom talajokra klímaérzékenység rangsort alakítottam ki. A kezelések rangsora (csökkenő sorrendben): Kultivátorostivátoros > Sekélykultivátoros > Direktvetés > Lazítás > Szántás > Tárcsázás. A rangsor alapján legkevésbé érzékeny a klímakárok hatásaira a kultivátorral művelt talaj, a legérzékenyebb a szántás és a tárcsázás. A rangsor információt ad arra, mely talajművelést kell előnyben részesíteni hasonló ökológiai körülmények, változékony, szélsőséges időjárási körülmények között.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Dolgozatom alapjául szolgáló munkámat a 2002-óta folyó Hatvan térségében beállított talajművelési tartamkísérletben végeztem 2013 és 2016 között.

A vizsgált időszakban szélsőséges időjárás uralkodott. A 2014. év első felében az átlaghoz közeli csapadék hullott, ellenben a 2015. évben a sokévi átlag alatti, végül a 2016. évben összességében átlagos volt a mennyiség, azonban az év eleji többlet egész évben éreztette hatását.

A dolgozat céljainak megvalósítását segítő vizsgálatok a művelési és a klíma eredetű hatások talaj reakcióinak egzakt értékelését segítették. A talajszerkezet vizsgálatok a por keletkezését bármely művelésnél igazolták, ugyanakkor azt is, hogy a keletkezett por mennyisége adott művelésre jellemző. A három idényben a kultivátorral művelt talajokban keletkezett a legkevesebb por, emellett a hazai szakirodalmi adatok (BIRKÁS et al., 2011; CSORBA et al., 2011; FÖLDES 2013) alapján újólág igazolódott a tárcsás és a szántásos művelések porosító hatása, főként a széles sorközű növények termesztésekor. Az aprómorzsa frakció eltérő arányban alakult, vagyis a tárcsázás és a szántás esetén 25-28%, a kultivátoros művelésnél 40%, valamint a lazítás és a direktvetés esetén 35%. A tárcsázás és a szántás a szakirodalmi adatok alapján is inkább a porfrakció nagyságát gyarapítják, ezen felül a porfrakció legkönnyebben az aprómorzsa szerkezetből képződik. Morzsáság tekintetében a kezelésekre jellemző arány alakult, kivéve a szántást, amelynél jelentős volt az ingadozás, vélhetően a felszín időjárási jelenségeknek kitettsége okán. A tárcsázott talajban minden idényben ~30% morzsa arányt mértünk, míg a kultivátoros, a lazításos és a direktvetéses kezeléseknél 30-40 %-ot. A rögzösödés a direktvetésben volt a dominánsabb, amely a kiszáradt és ülepedett felszín vetéskori bolygatása révén alakult ki.

A talajfelszínt érő, szemmel is látható klíma és művelési eredetű kár a kéregképződés, amely összefüggésben van a talaj aprómorzsa és por tartalmával. A tárcsázott és a szántott talajon a kéregvastagság mintegy tíz mm-rel haladta meg a kultivátorral művelt talajokét. A BOTTLIK és munkatársai (2014) alapján elkészített kéregvastagsági skálán mindhárom idényben a sekély kultivátoros, a kultivátoros, a lazításos művelések és a direktvetéses „könnyen javítható”, míg a tárcsázás és a szántás a kockázatos kategóriába sorolhatók.

A biota aktivitásra a földigiliszták számából következtettünk. A földigiliszták szám alapján szignifikáns különbség volt megállapítható a művelési kezelések között. Három év átlagában a szántott talajban volt a legkevesebb földigiliszták, átlagosan $\leq 5 \text{ db/m}^2$. A direktvetésben mértük a legnagyobb idényben belüli eltérést, mintegy 80 db/m^2 egyedszámmal.

Méréseink szerint a földigilisztaszám március-április hónapokban volt a legnagyobb, amikor a talaj élőhely kevésbé kitett a kedvezőtlen időjárási hatásoknak. A földigilisztákra vonatkozó eredményeinket igazolja két korábbi vizsgálat PEIGNÉ et al. (2009) és PELOSIA et al. (2016).

A termések elemzése alapján megállapítható, hogy az összterületi termésátlagtól a három idényben leginkább a tárcsázás és a direktvetés tért el. A tartósan legjobb eredményeket három év átlagában a kultivátoros és a sekélykultivátoros művelés mutatta. Ez a tény a két kezelés alkalmazhatóságát erősíti meg a Hatvan térségi csernozjom talajokon.

Megállapítottam továbbá, hogy a művelés módja és a vegetációs időszakban hullott csapadék minden esetben igazolható, közös hatást fejtett ki az összes vizsgált paraméterre, kivéve a röghfrakció arányát és a termést. Az alapművelés ugyan befolyásolta a rögsödést, de a hullott csapadék érdemben nem volt képes a nagyobb rögök enyhítésére. A kérgesedésre és a kéreg vastagságára hatással volt a csapadék eloszlása és intenzitása, ugyanakkor a termesztett növény, és az alapműveléssel kialakított állapot enyhítő vagy rontó tényezőként jelentkezett. Úgy találtuk, a termést nem csak az évhatás képes befolyásolni, hanem a csapadék eloszlása, intenzitása, a vetett faj, valamint a talaj állapota is. Az adatokból jól kivehető, hogy a művelés és a termesztett növény volt a legnagyobb igazolható hatással a talaj szerkezetére, a gilisztaszámára, nedvesség forgalmára és lazultságára.

Összefüggés volt kimutatható a gilisztaszám és a talajnedvesség értékek között és negatív összefüggés a gilisztaszám és a kéregvastagság között. Negatív összefüggés alakult az aprómorzsa, a rög és a havi csapadék mennyisége között. Ellenben a morzsafrakció pozitív összefüggést mutatott a havi csapadék mennyiségével. Negatív, de erős korrelációs összefüggés volt kimutatható a három mélységben mért talajellenállás és a talajnedvesség értékek között. A gilisztaszámok a talajnedvességgel pozitív korrelációt mutattak, míg a talajellenállással fordított arány volt tapasztalható. A porfrakció aránya kiemelkedően erős pozitív összefüggést mutatott a kéregvastagsággal, továbbá negatív összefüggést a morzsafrakció arányával. Feltételeztük, hogy a talaj felszínén létrejövő kérgesedés a talaj aprómorzsás, elporosodott szerkezete, a hullott csapadék hatására alakult ki, amely csökkentette földigiliszták aktivitást is. Ugyanakkor kimutattuk, hogy a földigiliszták számát a hullott csapadék mennyisége és a talaj penetrációs ellenállása, vagyis együttesen a plaszticitása befolyásolja.

A talajvizsgálati eredmények – és ismert szakirodalmi adatok (KRAMER és GLEIXNER 2007; HOBLEY és WILSON 2016; FATTAKHOVA et al., 2016) – alapján megállapítottuk, hogy a humusz % a mélység változásával csökkent. Mérsékelt csökkenést a szántott talajban

figyelhettük meg, amely az alapművelés a talajrétegek forgatása miatt lehetséges. A legnagyobb változást a tárcsázásnál és direktvetésesnél tapasztaltunk, azok csekély bolygatása miatt. A humusztartalom alakulásában a 2018. évi vizsgálat szerint a művelések sorrendje a következő volt (csökkenő sorrendben): Kultivátoros (3,5 %) > Sekély kultivátoros (3,36%) > Direktvetés (3,24%) > Tárcsázás (3,18%) > Lazítás (3,17%) > Szántás (3,01%).

Nem találtunk érdemi összefüggést arra, hogy a talajművelés közvetlen hatással lenne a talaj Arany-féle kötöttségére. Ugyanakkor feltételezzük, hogy a kötöttség csökkenése összefüggésben lehet a talaj humusztartalmának növekedésével.

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált paramétereket tekintve a legrosszabb eredmények és talajminőség értékek a tárcsázás és a szántás esetén alakultak, vagyis ezek a művelések a legérzékenyebbek az extrém időjárási események által kialakuló klímakárookra. A lazítás, sajátos hatásai ellenére nélkülözhetetlen a talajállapot javításában jelen klíma körülmények között. A direktvetés csernozjom talajokon csak feltételesen ajánlott módszer lehet, ugyanis több évre van szükség a jó termés eléréséhez. A művelési kezelések sorrendje az összesített eredmények alapján a következő (csökkenő sorrendben): Kultivátoros > Sekélykultivátoros > Direktvetés > Lazítás > Szántás > Tárcsázás.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy termésbiztonságot, jó talajállapotot és a klímakároknak mérsékelt kitettséget Hatvan térségi és hasonló tulajdonságokkal bíró csernozjom talajokon, hasonló termőhelyeken reálisan a kultivátoros művelésekkel lehet elérni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozással és a rendkívüli időjárási eseményekkel foglalkozó kutatások egységesen felhívják a figyelmet a mezőgazdasági termelés fenntarthatóságát fenyegető legnagyobb veszélyére, a klimatikus eredetű talajpusztulásra. Napjainkban a termőtalaj klíma-eredetű leromlásából származó agrárgazdasági károk csökkentése és megelőzése az egyik legnagyobb kihívást jelenti a hazai növénytermesztés számára. A kihívásra választ kell adni, amely magába foglalja a meglévő és új kutatások eredményeinek alkalmazását és hatékony technológiákkal történő alkalmazkodást a gazdálkodási gyakorlatban. Az alkalmazkodás fontos eleme a művelési beavatkozások adott körülményekhez szabott megválasztása és azok talajra gyakorolt hatásának pontos ismerete. A vonatkozó kutatások száma azonban nem elégséges, ezért a klasszikus talajminőség-tényezők klímakárookra való reagálásának vizsgálata jelentős kutatási potenciált rejt magában. Ennek okán a 2014 és 2016 közötti kutatási tevékenységem a Hatvan-Józsefmajori Kísérleti és Tangazdaságában beállított, 2002-ben megkezdett talajművelési tartamkísérletben végeztem. A tartamkísérletben hat művelési kezelést alkalmazunk, vagyis tárcsázás, sekély kultivátoros, kultivátoros, szántás, lazítás és direktvetés. A kísérleti munka során csapadékmennyiségre, talajszerkezetre, talajnedvességre és talajjellenállásra, földigiliszta aktivitásra, felszíni kéregképződésre, Arany-féle kötöttségre és humusztartalomra vonatkozó adatokat gyűjtöttünk, ennek okán a munka célkitűzései a következők voltak:

- A művelési beavatkozások hatásának vizsgálata tartamkísérletben a talaj állapotára és a terméshozamra, a vizsgálati évekre jellemző nedvesség-viszonyok között, sűrű és széles sorközü növények termesztése esetén.
- A művelési beavatkozások és a talajszerkezet összefüggéseinek vizsgálata, különös tekintettel a por- és kéregképződésre, valamint a földigilisztaszámra.
- A humusztartalom változásának értékelése a tartamkísérlet 16. évében, tekintettel a művelési kezelések eltérő hatásaira.
- Javaslattétel a klíma- és a gazdálkodási eredetű károk hatását csökkentő, a termésbiztonságot növelő művelési megoldásokra, valamint a vizsgált paraméterek alapján művelési teljesítményrangsor felállítása.

A talajállapot változások egzakt értékelését az adott feladathoz adaptálva kibővítettem (ANOVA, MANOVA, Tamhane-féle T2 és LSD post-hoc teszt, főkomponens analízis, Pearson-féle korrelációs mátrix), ezáltal pontosabb rangsorolásra nyílt lehetőségem.

A kutatási munkám során a termesztett növény, a talajművelés és a csapadék kombinációinak vizsgálatával igazoltam a vegetációs időben hullott csapadék és a növény jótékony hatását a talaj szerkezetére. A talajműveléshez szorosan kötődő tényezőket a korábbiaktól eltérően jelöltem ki, ezért a talaj plaszticitása, eliszapolódása, szerkezetének leromlása és a bióta aktivitás meghatározása a klímakár-jelenségek felismerésére irányíthatja a figyelmet. Szoros összefüggést mutattam ki a felszíni kérgesedés és a talaj aprómorzsa és portartalma között, valamint igazoltam a kedvező morzsáság szerepét a kéregképződés megelőzésében. Talajminőség tényezők elemzésének segítségével igazoltam a kultivátoros művelés időjárási jelenségeket és az évhatást toleráló szerepét, továbbá tartós kedvező hatását a termést befolyásoló fizikai és biológiai talaj-jellemzőkre.

Bizonyítani tudtam a talaj humusztartalmának növekedését 16 éve tartó humusz-kímélő művelések alkalmazása esetén, azonban nem találtam összefüggést a talaj Arany-féle kötöttsége (K_A) és a művelési kezelések között. Célkitűzéseimnek megfelelően a Hatvan térségi csernozjom talajokra klímaérzékenység-rangsor alakítottam ki a műveléseket illetően. A kezelések rangsora (csökkenő sorrendben): Kultivátoros > Sekélykultivátoros > Direktvetés > Lazítás > Szántás > Tárcsázás. A rangsor alapján legkevésbé érzékeny a klímakárok hatásaira a kultivátorral művelt, a legérzékenyebb a szántott és a tárcsázott talaj. A rangsor információt ad arra vonatkozóan, hogy mely talajművelést kell vagy lehet előnyben részesíteni hasonló ökológiai adottságok, változékony és szélsőséges időjárási körülmények között.

7. SUMMARY

All scientific researches investigating climate change and the extraordinary climate events, draw attention to the climate-originated soil degradation which is the highest risk regarding sustainable agricultural production. Nowadays, the reduction and prevention of agricultural damages caused by soil degradation is one of the greatest challenges for the Hungarian crop production. The main challenge is the efficient application of existing and new technologies and researches in farming practices. An important element of adaptation is the usage of the adequate tillage systems in specific circumstances and the knowledge of their exact impact on soil. There are not too many relevant studies in this topic, thus studying the responses of classical soil quality factors to climate damages as indicators has considerable research potential. For this reason, my research activity between 2014 and 2016 was carried out in a soil tillage long-term experiment, which was started in 2002 at the Experimental and Demonstration Centre of Józsefmajor in Hatvan. In the long-term experiment, six tillage treatments are used: disk tillage, shallow tine tillage, tine tillage, ploughing, loosening and direct drilling. During the experimental work we collected data about precipitation, the soil structure, the soil moisture content, the soil penetration resistance, the earthworm activity, the surface crust formation, the upper limit of plasticity according to Arany (K_A) and the humus content. Within my experimental work my goals were the following:

- Investigation of the effects of tillage treatments in the long-term experiment and measuring the soil condition and crop yields, under certain climatic conditions.
- Analysing the interactions between tillage treatments and soil structure, with emphasis on dust and crust formation and earthworm activity.
- Evaluation of the changes in humus content in the 16th year of the long-term experiment, due to the different effects of tillage treatments.
- Proposing solutions that can reduce the impact of climate and farming damages and increase crop safety. Setting up a tillage performance ranking based on the studied parameters.

For the exact evaluation of the collected data about the soil condition changes I used different statistical analyses (ANOVA, MANOVA, Tamhane's T2 and LSD post-hoc tests, Principal Component Analysis, Pearson's correlation matrix), which also proved to be useful in creating a more accurate tillage performance ranking. The factors that are closely related to soil tillage have been marked differently from the previous studies, therefore the plasticity of the soil,

degradation of the structure, the siltation and the determination of biota activity can help in the determination of climate induced soil damages. I found close correlation between surface crusting, soil crumb and dust content, as well as the role of favourable crumb content in the prevention of surface crust formation. I proved the tine tillage weather phenomena and crop year effect tolerant role, as well as its lasting beneficial effect on the physical and biological soil parameters. I was able to prove an increasing trend in the humus content of the soil at the humus-friendly treatments of the long-term experiment, but I could not find correlation between the upper limit of plasticity according to Arany (K_A) and tillage treatments. In line with my objectives, I developed a climate sensitivity ranking of the tillage treatments in chernozem soils around Hatvan. The ranking of treatments (in descending order) are: Tine tillage > Shallow tine tillage > Direct drilling > Loosening > Ploughing > Disk tillage. Based on the ranking, the soil is the least sensitive to the effects of climate damage in case of Tine tillage and the most sensitive in the case of Ploughing and Disk tillage. The rankings provide information on which soil tillage method must or may be favoured under similar ecological conditions or in case of volatile and extreme weather conditions.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. ANTAL J. (2000): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda kiadó, Budapest, 391p.
2. ANTAL J., Egerszegi S., Penyigei D. (1966): Növénytermesztés homokon. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 249p.
3. ATTERBERG, A. (1905) Die rationelle Klassifikation der Sand und Kiese. Chemiker-Zietung, Vol. 29 (1905), pp. 195-199.
4. ÁBRAHÁM R., ÉRSEK T., KUROLI G., NÉMETH L., REISINGER P. (2011): Növényvédelem. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, online tankönyv.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_08_Novenyvedelem/ch02s02.html
5. BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (1994): Multivariate Analysemethoden. Springer-Verlag, Berlin. 583p.
6. BAICS T., CENTERI CS. (2011): Kiskunhalas környéki szikes tavak vízgazdálkodási problémái, azok okai, lehetséges megoldások a Sós-tó vízutánpótlására. Tájékológiai lapok 9(1): 53-71.
7. BALLENGER R. (1921): A termőföld hibái.
8. BALOTA, E.L., YADA, I.F., AMARAL, H., NAKATANI, A.S., DICK, R.P., COYNE, M.S. (2014): Longterm land use influences soil microbial biomass P and S, phosphatase and arylsulfatase activities, and S mineralization in a Brazilian Oxisol. Land Degrad. Dev. 25, 397–406.
9. BÁN R. (2006): Növénykórtan: A fontosabb szántóföldi és kertészeti növények betegségei. SZIE-MKK-NVI, Szent István Egyetemi Kiadó 106p.
10. BARTHOLY J., MÉSZÁROS R., GERESDI I., MATYASOVSZKY I., PONGRÁCZ R., WEIDINGER T. (2013): Meteorológiai alapismeretek. Elte Földrajz- és Földtudományi Intézet, Budapest, 259p.
11. BATIONO, A., KIHARA, J., VANLAUWE, B., WASWA, B., KIMETU, J. (2007): Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. Agric. Syst. 94, 13–25.
12. BEKE D. (2006): Talajtömörödés és – nedvességtartalom vizsgálat szántóföldi tartamkísérletekben. Doktori (PhD) értekezés Veszprémi Egyetem, Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola 114p.
13. BENNETT H. H. (1939): Soil Conservation. McGraw-Hill book Company inc., New York and London. 993p.

14. BIRKÁS, M, SZABÓ, L. (1992): Stubble cover - moisture conservation - soil protecting tillage In: Fiebigler, G; Zollinger, F (szerk.) Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen: Tagungspublikation: Protection on Habitat against Floods, Debris and Avalanches = La protection de l'espace vital contre les crues, les coulées de laves torrentielles et les avalanches Klagenfurt, Ausztria: Forschungsgesellschaft fur Vorbeugende Hochwasserbekämpfung, pp. 302-3012., 2711 p.
15. BIRKÁS M. (1993): Talajművelés. In: Nyiri L., Birkás M., Kismányoky T., Lánszki I., Nagy J. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda kiadó, Budapest, 438p. 96–194.
16. BIRKÁS M. (1995): Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés. GATE KTI Egyetemi jegyzet, Gödöllő
17. BIRKÁS, M. Albrecht, L. Holló, S. Nyárai, H. F. Szalai, T. Percze, A. (1996): A tömörödöttség kialakulása a talajban és hatása a kukorica termésére és gyomosodására. Környezet- és tájgazdálkodási füzetek. II/1. 61-72.
18. BIRKÁS, M. (szerk) (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Budaepeszt, Akaprint Kiadó, Budapest, 345 p.
19. BIRKÁS M. (2005): A talaj minőségének javítása, fenntartása. 245-266. p. In: Stefanovits P., Michéli E. (Szerk.): A talajok jelentősége a XXI. Században. Marosi-Print Kft. Budapest, 403 p.
20. BIRKÁS M., ANTOS G., NEMÉNYI M., SZEMŐK A. (2006): Alkalmazkodó talajművelés. Akaprint Nyomdaipari Kft., Budapest, 367p.
21. BIRKÁS M. (2007): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda kiadó, Budapest. 414p.
22. BIRKÁS M. (2009): Classic cultivation requirements and the need of reducing climatic damage. Növénytermelés, 58: 123-134.
23. BIRKÁS M. (2010): Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda kiadó, Budapest. 282p.
24. BIRKÁS M., BOTTLIK L., CSORBA S., MESIC, M. (2010a): Soil quality improving and climate stress mitigating tillage – The Hungarian solutions. Hungarian Agr. Research, 19: 4-8.
25. BIRKÁS, M., BOTTLIK, L., STINGLI, A., GYURICZA, CS., JOLÁNKAI, M. (2010b): Effect of soil physical state on the earthworms in HU. Applied and Environmental Soil Science. Volume 2010. Article ID 830853. 7. p.
26. BIRKÁS M. (2011): Tillage, impacts on soil and environment. In: Glinski J., Horabik J., Lipiec J. (eds.): Encyclopedia of Agrophysics. Springer Dordrecht, p. 903-906.
27. BIRKÁS, M., KISIC, I., JUG, D., SMUTNY, V. (2011): Remediating water-logged soils by means of adaptable tillage. Agriculture in nature and environment protection. [In: Stipesevic, B.–Soric, R. (eds.) 4th Internat. Scientific/professional Conf. Proceedings and Abstracts.] 1–3 June, 2011. Vukovar. Glas Slavonije d.d. Osijek. 11–22.
28. BIRKÁS M., KALMÁR T., KISIC I., JUG D., SMUTNY V., SZEMŐK A. (2012): A 2010. évi csapadék jelenségek hatása a talajok fizikai állapotára. Növénytermelés 61:(1) pp. 7-36.
29. BIRKÁS M., KISIC I., JUG D., SCHMIDT R., KENDE Z. (2014): Climate phenomena of the first half of year 2013. In: 7th International Scientific/professional Conf., Agriculture in nature and environment protection. 308 p., Vukovar, Croatia, 2014.05.28-2014.05.30. Osijek: Glas Slavonije, pp. 14-25.

30. BIRKÁS M., DEKEMATI I., KENDE Z., PÓSA B. (2017): Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. Hungarian Geographical Bulletin 66:(1) pp.55–64., 10p.
31. BISSETT, A., RICHARDSON, A.E., BAKER, G., THRALL, P.H. (2011): Long-term land use effects on soil microbial community structure and function. Appl. Soil Ecol. 51, 66–78.
32. BOSSUYT, H., SIX, J., HENDRIX P. F. (2004): Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. Eur. J. Soil Sci., 55, pp. 393–399
33. BOTTLIK L., CSORBA SZ., GYURICZA CS., KENDE Z., BIRKÁS M. (2014): Climate challenges and solutions in soil tillage. Applied Ecology and Environmental Research 12:(1) pp. 13-23.
34. BOTTK L. (2016): A felszíntakarás jelentősége a talajvédelemben és a klímakárok enyhítésében. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Növénytudományi Doktori Iskola, Gödöllő, 188p
35. BOSTRÖM, U. (1995): Earthworm populations (*Lumbricidae*) in ploughed and undisturbed leys. Soil Till. Res. 35, 125–133.
36. BÜHMANN, C., RAPP, I., LAKER, M.C. (1996): Differences in mineral ratios between disaggregated and original clay fractions in some South African soils as affected by amendments. Aust. J. Soil. Res. 34, 909–923.
37. BURAGIENĖ S., ŠARAUSKIS E., ROMANECKAS K., ADAMAVIČIENĖ A., KRIAUCIŪNIENĖ Z., AVIŽIENYTĖ D., MAROZAS V., NAUJOKIENĖ V. (2019): Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. Science of the Total Environment 662,786–795.
38. BÜNEMANN, E. K., BONGIORNO, G., BAI, Z., CREAMER, R. E., DE DEYN, G., DE GOEDE, R., FLESKENS, LUUK., GEISSEN, V., KUYPER., MADER, PL., PULLEMAN, M., SUKKEL, W., GROENSIGEN, J W., BRUSSAARD, L. (2018): Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120, 105–125.
39. CAMMALLERI, C., MICALE, F., VOGT, J., (2016): A novel soil moisture-based drought severity index (DSI) combining water deficit magnitude and frequency. Hydrol. Process. 30 (2), 289–301.
40. CAMPIGLIA, E., RADICETTI, E., MANCINELLI, R. (2015): Cover crops and mulches influence weed management and weed flora composition in strip-tilled tomato (*Solanum lycopersicum*). Weed Res. 55, 416–425.
41. CARTER, M.R., GREGORICH, E.G., ANDERSON, D.W., DORAN, J.W., JANZEN, H.H., PIERCE, F.J. (1997): Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), Developments in Soil Science. Elsevier, pp. 1–19.
42. CENTERI CS. (2001): Az általános talajvesztesség becslési egyenlet (USLE) K tényezőjének vizsgálata. Doktori dolgozat, Szent István Egyetem, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő, 125p.

43. CHAKRABORTY, D., GARG, R.N., TOMAR, R.K., SINGH, R., SHARMA, S.K., SINGH, R.K., TRIVEDI, S.M., MITTAL, R.B., SHARMA, P.K., KAMBLE, K.H. (2010): Synthetic and organic mulching and nitrogen effect on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agric. Water Manag.* 97, 738–748.
44. CHAN, K. Y. (2001): An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils. *Soil Till. Res.*, 57 (2001), pp. 179–191
45. CSERHÁTI S. (1891): A talajok mélyművelése hazánkban. Czéh Sándor-féle könyvnyomda, Magyar-Óvár 95p.
46. COOK, H.F., VALDES, G.S.B., LEE, H. C. (2006): Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil and Tillage Research*, 91: 227–235
47. COX J. F., JACKSON L. E. (1946): Crop management and soil conservation. John Wiley & Sons Inc. New York. Chapman & Hall LTD, London. 572p.
48. CRITTENDEN J., ESWARAMURTHY T., DE GOEDE R.G.M., BRUSSAARD L., PULLEMAN M.M. (2014): Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farmings. *Applied Soil Ecology* 83, 140–148
49. CSORBA SZ., FARKAS CS., BIRKÁS M. (2011): Kétpórusú víztartóképeség-függvény a talajművelés-hatás kimutatásában. *Agrokémia és Talajtan*, 60: 2. 335–342.
50. CURRY, J.P. (2004): Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards, C. (Ed.) (2004): *Earthworm Ecology* (2nd edition). CRC Press, Boca Raton 425p. 91–114.
51. DARWIN, C. R. (1840): On the formation of mould. [Read 1 November 1837] *Transactions of the Geological Society* (Ser. 2) 5 (2): 505–509.
52. DEMO M. (2001): A fenntartható mezőgazdasági rendszerek talajművelési és növénytermesztési sajátosságai. In: Birkás M. (szerk.) (2001): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Gödöllő. pp.47–70. 292p.
53. DENG, S.P., TABATABAI, M.A. (1997): Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertil. Soils* 24,141–146.
54. DORAN, J.W., PARKIN, T.B. (1994): Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Madison, WI, pp. 3–21.
55. DOUGILL, A.J., THOMAS, A.D. (2004): Kalahari sand soils: spatial heterogeneity, biological soil crusts and land degradation. *Land Degrad. Dev.* 15, 233–242.
56. DÖVÉNYI Z. (szerk.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 876p.
57. EDWARDS, C. (2004): The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna. In: Edwards, C. (Ed.) (2004): *Earthworm Ecology* (2nd edition). CRC Press, Boca Raton (2004) 425p. 3–12.

58. EITZINGER, J. (1991): Einflüsse unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungs-sísteme auf ausgewählte bodenphysikalische Eigensshalften. Dissertation univ. F. Bodenkultur Wien. Cit.
59. FAO (1996): Global climate change and agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes, Rome. <http://www.fao.org/docrep/w5183e/w5183e00.htm#Contents> (Letöltés ideje: 2016. március 20.)
60. FAO (2013): The State of Food Seecurity in the World. The multiple dimensions of food security, Rome, 53p. <http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e.pdf> (Letöltés ideje: 2016. március 20.)
61. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO (2018) The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. Rome, 183p. <http://www.fao.org/3/I9553EN/i9553en.pdf> (Letöltés ideje: 2018. december 19.)
62. FARKAS CS., GYURICZA CS. (2006): Hidrológiai tényezők. In: Birkás M. (szerk.) (2006): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda kiadó budapest. 414p. 30–33.
63. FATTAKHOVA, L. A., SHINKAREV, A. A., KOSAREVA, L. R., NURGALIEV, D. K., SHINKAREV (JR), A. A., BAGAUDINOVA Y. S. (2016): Magnetic properties of different-aged chernozemic soil profiles. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 11. No. 19. 11383 – 11394.
64. FAULKNER E. H. (1943): Plowman's folly. Grosset & Dunlap, New York. 71p.
65. FAUR K., SZABÓ I. (2011): Geotechnika. Digitális Egyetem, online tankönyv. 42p. <http://meip.x5.hu/files/1622>
66. FODOR Z., KOLLÁTH K., CSONKA T., VÉBER I., VINCZE E. (2014): Beszámoló 2013. év éghajlatáról és szélsőséges időjárási eseményeiről a Kormány 277/2005. (XII.20) Korm. Rendelete az Országos Meteorológiai Szolgálatról 2. § (1) e) pontja alapján. OMSZ, Budapest, 14p.
67. FODOR Z., KOLLÁTH K., CSONKA T., VINCZE E. (2015): Beszámoló 2014. év éghajlatáról és szélsőséges időjárási eseményeiről a Kormány 277/2005. (XII.20) Korm. Rendelete az Országos Meteorológiai Szolgálatról 2. § (1) e) pontja alapján. OMSZ, Budapest, 23p.
68. FÖLDESI P. (2013): Alkalmazkodó, környezetkímélő talajművelés feltételeinek megteremtése szántóföldi körülmények között. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Növénytudományi Doktori Iskola, Gödöllő. 124p.
69. FÜLEKY GY. (2010): Élőlények a talajban. In: Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (2010): Talajtan. Mezőgazda kiadó, Budapest. 470. pp. 59-70
70. GAO W., WATTS C.W., REN T., WHALLEY W.R. (2012): The effects of compaction and soil drying on penetrometer resistance. Soil and Tillage Research 125: 14–22.
71. GAO H., SHAO M. (2015): Effects of temperature changes on soil hydraulic properties. Soil and Tillage Research Volume 153, 145-154.
72. GERBER, F.A., HARMSE, H.J.V.M. (1987): Proposed procedure for the identification of dispersive soils by chemical testing. Civil Eng. S. Afr. 29, 397–399.

73. GRUBER S., PEKRUN C., MÖHRING J., CLAUPEIN W. (2012): Long-term yield and weed response to conservation and stubble tillage in SW Germany. *Soil and Tillage Research* 121: 49–56.
74. GUILFORD, J. P. (1950): Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454.
75. GULÁCSI A., KOVÁCS F. (2018): Drought monitoring of forest vegetation using MODIS-based normalized difference drought index in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 67(2018) (1) 29-42.
76. GUSTAFSON A. F. (1937): Conservation of the soil. McGraw-Hill book Company Inc., New York and London. 312p.
77. GYÁRFÁS J. (1928): A szántóföld helyes művelése: Kisgazdák számára. Athenaeum, Budapest. 87p.
78. HÅKANSSON, I., MYRBECK, Å., ETANA, A. (2002): A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil and Tillage Research*, 64(1-2), 23–40. doi:10.1016/s0167-1987(01)00255-0
79. HAKANSSON, L., VOORHEES, W. B. (1997) Soil compaction. In: *Methods for assessment of soil degradation* (Ed. Lal, R.-Blum, W. H.-Valentine, C.-Stewart, B. A.) CRC Press. New York. 167-179.
80. HALWATURA, D., MCINTYRE, N., LECHNER, A. M., ARNOLD, S. (2017): Capability of meteorological drought indices for detecting soil moisture droughts. *Journal of Hydrology: Regional Studies* Volume 12, 396-412.
81. HENDRIX, P., MUELLER, B., BRUCE, R., LANGDALE, G., PARMELEE R. (1992): Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, U.S.A. *Soil Biol. Biochem.*, 24 (1992), pp. 1357–1361
82. HOBLEY, E. U., WILSON B. (2016): The depth distribution of organic carbon in the soils of eastern Australia. *Ecosphere* 7(1)
83. HOROSZNÉ G. M. (2010): Birtoktervezési és rendezési ismeretek 10., Vízrendezés és melioráció. Nyugat-magyarországi Egyetem. Online tankönyv. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_BTRI10/ch01s04.html
84. IFPRI (2013): Climate Change. Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. Washington, 19p.
85. IPCC, 2013: Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
86. IQBAL M. (1983): An introduction to solar radiation. Academic press Canada, Ontario, 387p.
87. IVÁNYI K. (2010): Összefoglaló tájékoztató a 2009. december 25.–2010. június 25. közötti időszak belvízi eseményeiről. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (VKKI).

88. JABRAN, K., MAHAJAN, G., SARDANA, V., CHAUHAN, B.S. (2015): Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Prot.* 72, 57–65.
89. JACKSON, L.E., CALDERON, F.J., STEENWERTH, K.L., SCOW, K.M., ROLSTON, D.E. (2003): Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma* 114, 305–317.
90. JANSIRANI, D., NIVETHITHA, S., SINGH, M. V. P. (2012): Production and utilization of vermicast using organic wastes and its impact on *Trigonella foenum* and *Phaseolus aureus* *Int. J. Res. Biol. Sci.*, 2, pp. 187–189
91. JENSER G., MÉSZÁROS Z., SÁRINGER GY. (szerk.) (1998): A szántóföldi és kertészeti növények kártevői. Mezőgazda kiadó, Budapest, 630p.
92. JONES, C. G., LAWTON, J. H., SHACHAK M. (1994): Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, pp. 373–386
93. JORDÁN, A., ZAVALA, L.M., GIL, J. (2010): Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81, 77–85.
94. JUHÁSZ-NAGY P. (1986): Beszélgetések az ökológiáról. Mezőgazdasági kiadó. 234p.
95. KACSINSZKI N. A. (1949): A talaj keletkezése és élete. Szikra Könyvkiadó, Budapest. 72p.
96. KADOCSA GY. (1941): Ne feledkezzünk eg a ukricamolýról! *Köztelek.* 51. pp. 194–395.
97. KALMÁR T., BOTTLIK L., KISIĆ, I., GYURICZA CS., BIRKÁS M. (2013): Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods. *Plant Soil and Environment* 59:(9) pp. 404-409.
98. KALMÁR T. (2016): Tarlógondozás talajművelési és biológiai módszerekkel. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Növénytudományi Doktori Iskola, Gödöllő. 186p.
99. KEMENESY E. (1956): Talajerőgazdálkodás, Akadémia kiadó, Budapest, 370p.
100. KEMENESY E. (1964): Talajművelés. Mezőgazda kiadó, Budapest, 256p.
101. KEMENESY E. (1972): Földművelés – talajerőgazdálkodás. Akadémia kiadó. Budapest. 427p.
102. KENDE Z., SALLAI A., KASSAI K., MIKÓ P., PERCZE A., BIRKÁS M. (2017): The effects of tillage-induced soil disturbance on weed infestation of winter wheat. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol.26, No.3 1131-1138pp.
103. KIS-KOVÁCS G. (2015): PM emisszió a kibocsátási leltár tükrébe. *Légkör* 60(3) 124-128pp.
104. KOLLÁTH K., CSONKA T., HOFFMANN L. (2016): Beszámoló 2015. év éghajlatáról és szélsőséges időjárási eseményeiről a Kormány 277/2005. (XII.20) Korm. Rendelete az Országos Meteorológiai Szolgálatról 2. § (1) e) pontja alapján. OMSZ, Budapest, 21p.
105. KETTERINGS, Q.M., BLAIR, J.M., MARINISSEN, J.C.Y. (1997): Effects of earthworm on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in legume cover crop agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 29, pp. 401–408

106. KNOWLER, D., BRADSHAW, B. (2007): Farmers' adoption of conservation agriculture: a review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32, 25–48.
107. KOVÁCS G. (1996): Növényvédelem - A gyomirtás gyakorlata. In: Bocz E. (szerk.) (1996): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda kiadó, Budapest. pp. 187 – 191.
108. KOVÁCS Gy. (2014): Mezőgazdasági hasznosítású talajok szén-dioxid-emissziójának vizsgálata Karcag-térségében. Doktori értekezés. Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán növénytermesztési, kertészeti és regionális tudományok Doktori Iskola, Debrecen. 141p.
109. KRAMER, C., GLEIXNER G. (2007): Soil organic matter in soil depth profiles: Distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 425–433
110. LAKER, M. C., & NORTJÉ, G. P. (2019): Review of existing knowledge on soil crusting in South Africa. *Advances in Agronomy*.
111. LAL, R. (1974): Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant Soil* 40, 129–143.
112. LARSON, W.E., PIERCE, F.J. (1991): Conservation and enhancement of soil quality Evaluation for sustainable land management in the developing world. In: IBSRAM Proceedings, No. 12 Vol. 2, Technical Papers, Bangkok, Thailand, pp. 175–203.
113. LÁNG I., CSETE L. (1992): Az alkalmazkodó mezőgazdaság. Agricola Kiadó és Kereskedelmi Kft., Budapest, 210p.
114. LÁSZLÓ, P. (2007): A direktvetés és a bakhátas vetési és művelési rendszer hatása a talaj fizikai és biológiai állapotára. Doktori értekezés. Gödöllő.
115. LEE, K. (1985): Earthworms: Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use Academic Press, Sydney. 411p.
116. LIPIEC, J.; ARVIDSSON, J.; MURER, E. (2003) Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relations to topsoil and subsoil compaction. *Soil and Tillage Research* 73. pp. 15-29
117. LOXTON, VENN AND ASSOCIATES, (1987): Lower fish river irrigation project—Ciskei development project. In: Resource Base Study and Agricultural Potential. vol. 2. Ciskei Agricultural Corporation, Bisho. Unpublished report.
118. MÄDER, P., FLIESSBACH, A., DUBOIS, D., GUNST, L., FRIED, P., NIGGLI, U. (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694–1697.
119. MANNINGER G. A. (1946): A korszerű talajművelés alapelvei. Tisztvári Földművelésügyi Tanács, Debrecen
120. MAGEE D. (2005): The John Deere Way: Performance that Endures. John Wiley & Sons. 240p.
121. MAGER, D.M., THOMAS, A.D. (2011): Extracellular polysaccharides from cyanobacterial crusts: a review of their role in dryland soil processes. *J. Arid Environ.* 75, 91–97.
122. MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., CEBALLOS, A., CASADO, S., MORÁN, C., HERNÁNDEZ, V. (2005): Runoff and Soil Moisture Relationships in a Small

- Forested Basin in the Sistema Central Ranges (Spain). IAHS-AISH Publicationpp. 31–36.
123. MAUSEL, P.W. (1971): Soil quality in Illinois—an example of a soils geography resource analysis. *The Professional Geographer* 23, 127–136.
 124. MÁRTON L. (2002): Évhatás elemzése a nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérletben 1. A csapadék és a tápanyagellátás hatása a rozs (*Secale cereale* L.) termésére. *Agrokémia és Talajtan* 51. 3–4.
 125. MENON, M., YUAN, Q., DOUGILL, A.J., HOON, S.R., THOMAS, A.D., WILLIAMS, R.A. (2011): Assessment of physical and hydrological profiles of biological soil crusts using microtomography and modelling. *J. Hydrol.* 397, 47–54
 126. Mikó P. (2009): A zöldtrágyázás talajállapotra és utóveteményre gyakorolt hatásának vizsgálata. Doktori értekezés, Szent István Egyetem Növénytudományi Doktori Iskola 163p.
 127. MÓRING A., LAKATOS M., NAGY A., NÉMETH Á. (2011): A 2010. május–júniusi időjárás rendkívüliségei éghajlati szempontból. „Klíma-21” Füzetek 2010. 61. szám pp. 3–14.
 128. MO, F., WANG, J., XIONG, Y., NGULUU, S.N., LI, F. (2016): Ridge-furrow mulching system in semiarid Kenya: a promising solution to improve soil water availability and maize productivity. *Eur. J. Agron.* 80, 124–136.
 129. MOODY, J.E., JONES, J.N., LILLARD, J.H. (1963): Influence of straw mulch on soil moisture, soil temperature and the growth of corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 27, 700–703.
 130. MTI (2011a): Búzát vetnek az aszály miatt kipusztult repcére a termelők 2011. október 17. <http://www.mti.hu/mti/Default.aspx> (Letöltés ideje: 2015. szeptember 30.)
 131. MTI (2011b): Rendkívül gyengén kelnek az őszi vetések Jász-Nagykun-Szolnok megyében 2011. december 14. <http://www.mti.hu/mti/Default.aspx> (Letöltés ideje: 2015. szeptember 30.)
 132. NAAB, J.B., MAHAMA, G.Y., KOO, J., JONES, J.W., BOOTE, K.J. (2015): Nitrogen and phosphorus fertilization with crop residue retention enhances crop productivity, soil organic carbon, and total soil nitrogen concentrations in sandy-loam soils in Ghana. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 102, 33–43.
 133. NAGYVÁTHY J. (1821): Magyar Practicus Termesztő, Pest 1821 (hasonmás kiadás, Szegedi Ny., 1984)
 134. NYIRI L., BIRKÁS M., KISMÁNYOKY T., LÁNSZKI I., NAGY J. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda kiadó, Budapest, 438p.
 135. NISTOR, M-M. (2018): Climate change effect on groundwater resources in South East Europe during 21st century. *Quaternary International.* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.019>
 136. OECD (2013): Society at a Glance 2014. OECD Social indicators- The crisis and its aftermath. Paris, 144p. http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/society-at-a-glance-2014_soc_glance-2014-en;jsessionid=4rbrsteh641qi.x-oecd-live-03 (Letöltés ideje: 2016. március 20.)

137. OLIVEIRA, T., BERTRAND, M., ROGER-ESTRADE, J. (2012): Short-term effects of ploughing on the abundance and dynamics of two endogeic earthworm species in organic cropping systems in northern France. *Soil Till. Res.* 119, 76–84.
138. OUWERKERK, C., SOANE, B. D. (1994): Soil Compaction problems in world Agriculture. In: Soane, B. D., Ouwerkerk, C. van (eds.) *Soil compaction in crop production.* Elsevier, Amsterdam. 1–21.
139. PALMER, W.C. (1965): *Meteorological Drought.* Research Paper No. 45. US Department of Commerce. Weather Bureau, Washington, DC.
140. PÁLFAI, I. (1989): Az Alföld aszályossága. *Alföldi Tanulmányok* 13. 7–25.
141. PÁLFAI I., BOGA T.L., SEBESVÁRI J. (1999). Adatok a magyarországi aszályokról 1931-1998. *Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok* 7. Orsz. Met. Szolg. Budapest, 67-76.
142. PÁLFAI I. (2010): A 2010. évi belvíz hidrológiai értékelése. „Klíma-21” Füzetek 2010. 61. szám 43–51.
143. PÁTKAINÉ R. R. (2014): EUMETSAT CM-SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globális sugárzás adatokkal. ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest, 51p.
144. PATZEL, N., STICHER, H., KARLEN, D.L. (2000): Soil fertility - phenomenon and concept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* 163, 129–142.
145. PEIGNÉ, J., CANNAVACIUOLO, M., GAUTRONNEAU, Y., AVELINE, A., GITEAU, J.L., CLUZEAU D. (2009): Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil & Tillage Research* 104. 207–214pp.
146. PELOSIA, C., PEYA, B., CAROA, G., CLUZEAUD, D., PEIGNÉE, J., BERTRAND, M., HEDDEA, M. (2016): Dynamics of earthworm taxonomic and functional diversity in ploughed and no-tilled cropping systems. *Soil & Tillage Research* 156. 25–32pp.
147. PETHE F. (1805): *Pallérozott mezei gazdaság.* Szisz Antal József nyomdája. Sopron.
148. PETHŐ M. (1993): *Mezőgazdasági növények élettana.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 508p.
149. POSGAY E. (1968): Az öntözés időpontjának és normájának meghatározása. *Öntözéses Gazdálkodás*, No.2. p.27-38.
150. RAJKAI K. (1988): A talaj víztartóképesége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan* 36. p. 15–28.
151. RAMALAN, A.A., NWOKEOCHA, C.U. (2000): Effects of furrow irrigation methods, mulching and soil water suction on the growth, yield and water use efficiency of tomato in the Nigerian Savanna. *Agric. Water Manag.* 45, 317–330.
152. RASA K., HEIKKINEN J., MANNULA M., ARSTILA K., KULJU S., HYVÄLUOMA J. (2018): How and why does willow biochar increase a clay soil water retention capacity? *Biomass and Bioenergy* Volume 119, Pages 346-353
153. RÁTONYI T. (2006): Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. In.: Birkás M. (szerk.) (2006): *Földművelés és földhasználat.* Mezőgazda kiadó budapest. 414p. 22–73.

154. REILLY, J., HOHMANN, N. AND KANE, S. (1994): Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses? *Global Envir. Change* 4: 24-36.
155. RIAH-ANGLET, W., TRINSOUTROT-GATTIN, I., MARTIN-LAURENT, F.B., LAROCHE-AJZENBERG, E., NORINI, M-P., LATOUR, X., LAVAL, K. (2015): Soil microbial community structure and function relationships: A heat stress experiment. *Applied Soil Ecology* Volume 86,121-130.
156. SAJTOS L., Miterv A. (2007): SPSS kutatási és adatelemzési kézikönyv. Alinea Kiadó, Budapest. 402p.
157. SCHMIDT R. (2001): Trágyázás és talajjavítás a fenntartható növénytermesztési rendszerekben. In: Birkás M. (szerk.)(2001): Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Gödöllő. pp.189-230. 292p.
158. SCHMIDT R. (2011): Földműveléstan. Nyugat-Magyarországi Egyetem, online tankönyv.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_05_Foldmuveles/ch02.html (Letöltés ideje: 2016. március 20.)
159. SCHULTE, R.P.O., CREAMER, R.E., DONNELLAN, T., FARRELLY, N., FEALY, R., O'DONOGHUE, C., O'HUALLACHAIN, D. (2014): Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy* 38, 45–58.
160. SCHULTZ-LUPITZ, A. (1891): Der Zwischen-fruchtban auf leichten Böden. D. DLG Helf 7. Berlin.
161. SHARAT, B., AUVERMANN, B. (2014): Dust pollution from Agriculture. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Volume 2. 487-504pp.
162. SHARMA, P., ABROL, V., SANKAR, G. R. M., SINGH, B. (2009): Influence of tillage practices and mulching options on productivity, economics and soil physical properties of maize-wheat system. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 79: (11) 865-870. p.
163. SICZEK, A., HORN, R., LIPIEC, J., USOWICZ, B., ŁUKOWSKI, M. (2015): Effects of soil deformation and surface mulching on soil physical properties and soybean response related to weather conditions. *Soil Tillage Res.* 153, 175–184.
164. SIPOS G. (1962): Földműveléstan. Mezőgazdasági kiadó. Budapest, 438p.
165. SIPOS G. (1966): Földműveléstan. Mezőgazdasági kiadó, Budapest. 437p.
166. SLEPETIENE A., SLEPETYS J. (2015): Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma* 127, 207 – 215.
167. SOARES, M. B., ALEXANDER, M., DESSAI, S. (2007): Sectoral use of climate information in Europe: A synoptic overview. *Climate Services*. Vol. 9. 5-20.
168. SOLYMOS R. (2010): Néhány gondolat a 2010. évi időjárási szélsőségek nyomán a fenntartható erdőgazdálkodásról. *Gazdálkodás* 54. évf. 7. szám, 2010. 815–822.
169. STALLINGS J. H. (1957): Soil Conservation. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 575p.
170. STEFANOVITS P. (1992) Agronómiai szerkezet. In: Talajtan. Mezőgazda Kiadó.Budapest. pp.121–123.

171. STEFANOVITS P. FILEP GY., FÜLEKY GY (1999): Talajtan. Mezőgazda kiadó, Budapest, 470p.
172. STIPESEVIC, B; BAVEC, F; JUG, D; JUG, I; BROZOVIC, B; SIMIC, M; KISIC, I; BIRKÁS, M. (2013): Utilization of cover crops for sustainable agriculture In: Vukadinovic, V; Durdevic, B (szerk.) 2nd International Conference on Soil and Crop Management: Adaptation and Mitigation of Climate Change Osijek, Horvátország: Grafika Osijek, (2013) pp. 352-358. 40, 7 p.
173. SURÁNYI J. (1957): A kukorica és termesztése. Akadémia kiadó, Budapest 279p.
174. SZINAY M. (2007): A talaj vízháztartásának jelene és jövője. Mérnök Újság, 2007/10
175. TERSIC, T., GOSAR M. (2012): Comparison of elemental contents in earthworm cast and soil from a mercury contaminated site (Idrija area, Slovenia) Sci. Total Environ., 430, pp. 28–33
176. TÓTH Z. (2006): Vetésváltás, kártevő, kórokozók és gyomok. In: Birkás M.(szerk.) (2006): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda kiadó, Budapest. pp. 353–354.
177. TÓTHNÉ P. L. (2011): A kutatómódszertan matematikai alapjai. Médiainformatikai Kiadványok, Eszterházy Károly Főiskola. Eger. 134p.
178. VAN CAPELLE, C., SCHRADER, S., BRUNOTTE J. (2012): Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota: a review with a focus on German data. Eur. J. Soil Biol., 50 (2012), pp. 165–181
179. VAN DER WATT, H.V.H., CLAASSENS, A.S. (1990): Effect of surface treatments on soil crusting and infiltration. Soil Technol. 3, 241–251.
180. VAN DER WATT, H.V.H., VALENTIN, C. (1992): Soil crusting—the African view. In: Sumner, M.E., Stewart, B.A. (Eds.), Soil Crusting, Chemical and Physical Processes. CRC Press, Boca Raton, pp. 301–338.
181. VÁRALLYAY GY. (1999): A talajfizika gyakorlati alkalmazásai a fenntartható talajhasználatban. Gyakorlati Agrofórum 10. 7. 4-7.
182. VÁRALLYAY Gy. (2005a): Magyarország talajainak vízraktározó képessége. Agrokémia és Talajtan, 54(1-2), pp. 5–24
183. VÁRALLYAY Gy. (2005b): Talajvédelmi stratégia az EU-ban és Magyarországon. Agrokémia és Talajtan 54: (1-2) pp. 203-216
184. VÁRALLYAY GY. (2005c): A talaj és a víz. In: Sefanovits P., Micheli E. (2005): Talajok jelentősége a 21. században. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest. pp.61-76. 402p.
185. VÁRALLYAY GY., FARKAS CS.: (2008) A klímaváltozás várható hatásai Magyarország talajaira. In: Harnos Zs. – Csete L. (szerk.) Klímaváltozás: környezet-kockázat-társadalom. Szaktudás Kiadóház. Budapest. p.91–129.
186. VÁRALLYAY G. (2011): Water-dependent land use and soil management in the Carpathian basin. Növénytermelés, 60: Suppl. 297-300.
187. WANG, X., FAN, J., XING, Y., XU, G., WANG, H., DENG, J., WANG, Y., ZHANG, F., LI, P., LI, Z. (2019): Chapter three - The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants. Advances in Agronomy. Volume 153. 121-173.

188. WARDLE, D.A., YEATES, G.W., NICHOLSON, K.S., BONNER, K.I., WATSON, R.N. (1999): Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1707–1720.
189. WISCHMEIER, W. H. AND D. D. SMITH. (1978): Predicting rainfall erosion losses: guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook 537. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
190. YANG C., LIU N., ZHANG Y. (2019): Soil aggregates regulate the impact of soil bacterial and fungal communities on soil respiration. *Geoderma* 337, 444–452.
191. ZÁVOTI J. (2010): Matematikai statisztikai elemzések 5., Kapcsolatvizsgálat: asszociáció, vegyes kapcsolat, korrelációszámítás. Varianciaanalízis (egyszeres osztályozás). Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 28p. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_MSTE5/ch01s07.html
192. ZSEMBELI, J., SZŰCS, L., TUBA, G., CZIMBALMOS, R. (2015): Nedvességtakarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. p. 122-133. In: MADARÁSZ B. (Szerk.): Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon. Budapest: CSFK FTI

Internetes források

- http1: Global Agro Ecological Zones V3.0 GAEZ (Letöltés ideje: 2019.03.19)
<http://www.gaez.iiasa.ac.at/>
- http2: Lakatos M., Bihari Z., Hoffmann L., Izsáki B., Kircsi A., Szentimrey T. (2018): Megfigyelt változások Magyarországon. OMSZ. (Leöltés ideje: 2018.12.20.)
https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/
- http3: The tillage history. Kuhn Krause Inc. (Letöltés ideje: 2018.12.20)
<http://www.tillageanswers.com/tillagehistory.htm>

M2.1 Táblázatok jegyzéke

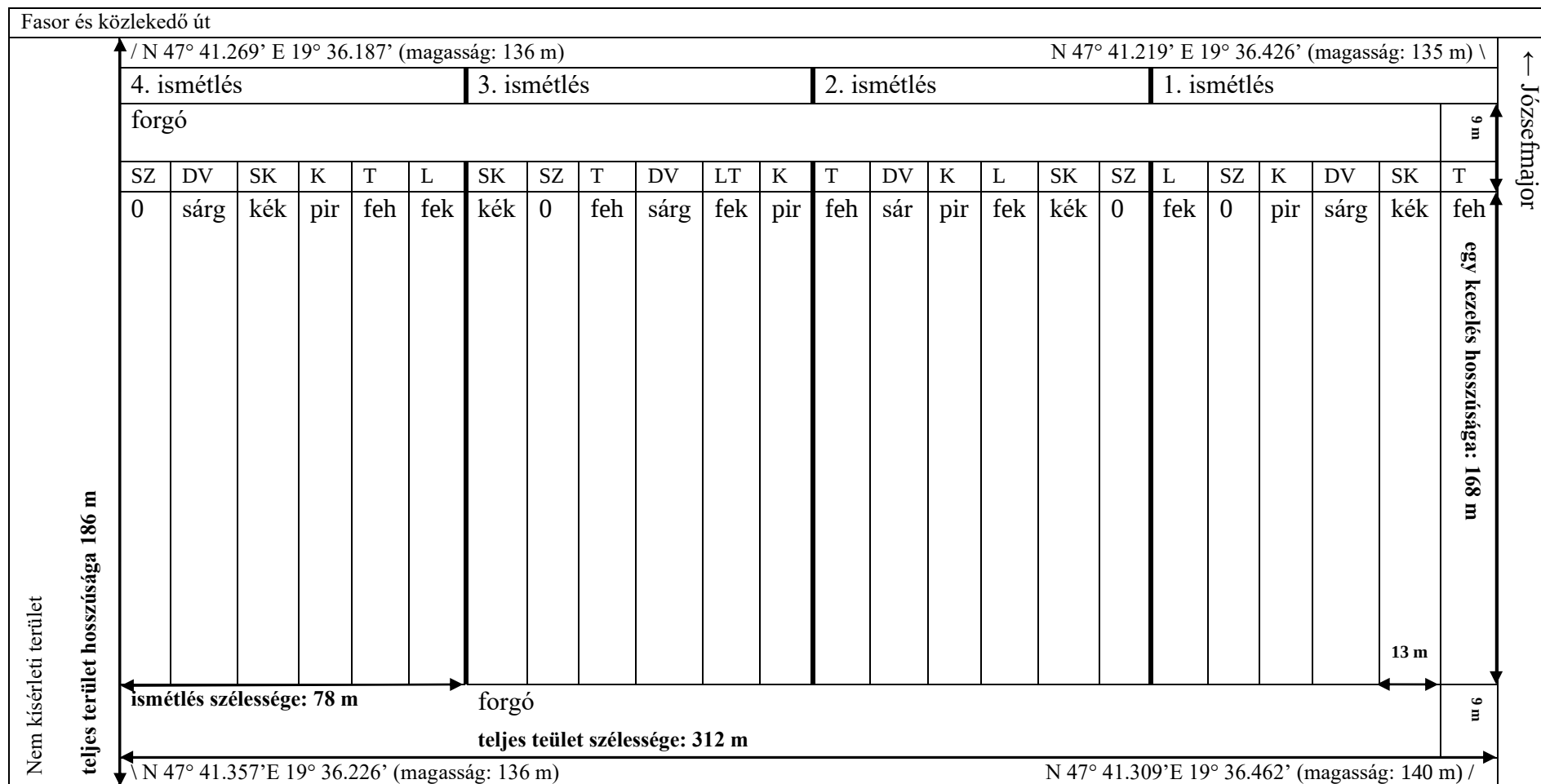
1. táblázat: Magyarország területének használata művelési áganként (ezer ha). Forrás: KSH (2018)	30
2. táblázat: A kísérleti terület talajszelvényének leírása és tulajdonságainak változása a genetikai szintek függvényében (SZIE TALT és GULYÁS 2017 alapján).....	35
3. táblázat: A kísérlet technológiai leírása 2013 és 2016 között	36
4. táblázat: A kísérleti terület átlagmintáján alapuló talajvizsgálati paraméterek 2006-ban (Geoderma Bt.).....	38
5. táblázat: A vizsgált időszakon belül a tartamkísérletben elvégzett mérések gyakorisága	39
6. táblázat: A metrikus és kategorikus mérésekhez tartozó skálatípusok (BACKHAUS et al. 1994 nyomán) és a kutatás során gyűjtött adatok skálatípusonkénti besorolása.....	40
7. táblázat: A kísérlet leíró statisztikai összefoglaló (2014-2016).....	43
8. táblázat: A vizsgált időszak mért eredményeinek homogenitás vizsgálata Levene-tesztel	44
9. táblázat: A növényállomány, az kezelések és a vegetációs időszak csapadékanak kölcsönhatásai a vizsgált változókra (2014-2016, Hatvan, Józsefmajor)	61
10. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2014. évi mérési eredményei között, napraforgó esetében.....	63
11. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2015. évi mérési eredményei között, őszi búza esetében	64
12. táblázat: A Pearson-féle korrelációs együtthatók a kísérlet 2016. évi mérési eredményei között, kukorica esetében	65
13. táblázat: A kísérletben mért adatok alapján elkészített főkomponens analízis eredményei	67
14. táblázat: Az egyszerű rangsorolás eredményei a kísérlet összegzett adatai alapján (Hatvan-Józsefmajor, 2014-2016).....	75
15. táblázat: A tartamkísérletben vizsgált kezelések teljesítményrangsora és klímaérzékenysége 2014 és 2016 közötti időszakban.....	78

M2.2 Ábrák jegyzéke

1. ábra: A magyarországi agrártermelési alkalmassági index előrejelzése a 2020 – 2050-es évekre (A-B) (FAO GAEZ, http1); Az IPCC átlaghőmérsékleti előrejelzése az európai régióra 2016 – 2065 között (C-D) (IPCC 2013).	8
2. ábra: A józsefmajori kísérleti tér jellemző talajszelvénye (SZIE TALT, GULYÁS 2017)..	34
3. ábra: A kísérleti időszak (2014-2016) alatt hullott csapadék eltérése a területre jellemző sokévi átlagtól	42
4. ábra: A porfrakció arány átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. idényeiben..	46
5. ábra: Az aprómorzsa (0,25-2,5 mm) frakció arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.....	48
6. ábra: A morzsafrakció (2,5-10 mm) arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.	49
7. ábra: A rögrakció (> 10 mm) arányának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.	50
8. A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 0 – 15 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben	51
9. A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 15 – 30 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben	52
10. ábra: A talajnedvesség (m/m%) átlagos értékei kezelésenként 30 – 50 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.....	53
11. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezelésenként 0 – 15 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.....	54
12. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezelésenként 15 – 30 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.....	55
13. ábra: A talajellenállás (MPa) átlagos értékei kezelésenként 30 – 50 cm mélységben a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.....	56
14. ábra: A kéregvastagság (mm) átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. évi idényeiben.	58
15. ábra: A földigiliszták számának átlagos értékei kezelésenként a kísérlet 2014–2016. idényeiben.	59
16. ábra: A termésátlagtól való eltérése kezelésenként a kísérlet 2014–2016. idényeiben.....	60
17. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 0–10 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.	68
18. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 10–20 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.	69
19. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 20–30 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.	70
20. ábra: A humusztartalom változása a kísérleti terület 30–40 cm mély rétegében 2009 és 2018 között.....	71
21. ábra: A humusztartalom (%) változása a kísérletben, különböző talajmélységekben kezelésenként	72

22. ábra: A humusztartalom mélységenként összesített változása a tartamkísérletben 2009 és 2018 között.....	73
23. ábra: A talaj Arany-féle kötöttsége a kísérletben, eltérő művelés esetén, 2009 és 2018 között.....	74
24. ábra: A tartamkísérletben mért paraméterek teljesítményének ábrázolása a kísérlet 2014-2018. éveiben (1: legjobb érték – 6: legrosszabb érték).....	77

M3. A kísérlet beállításának sematikus ábrázolása



M4. Az eredményeket alátámasztó statisztikai elemzések segédtablázatai

4.1a. melléklet: a porfrakció ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA Porfrakció					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	228,008	5	45,602	7,491	,000
Within Groups	840,105	138	6,088		
Total	1068,113	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1150,969	5	230,194	5,808	,000
Within Groups	5469,448	138	39,634		
Total	6620,417	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3728,852	5	745,770	26,722	,000
Within Groups	3851,342	138	27,908		
Total	7580,195	143			

4.1b. melléklet: A porfrakció post-hoc tesztjének eredményei

Porfrakció (%)		2014 (Napraforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		Tamhane T2		Tamhane T2		Tamhane T2	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	-2,324	0,215	7,675*	0,003	13,745*	0,000
	Kultivátoros	0,740	1,000	4,115	0,588	13,939*	0,000
	Szántás	-1,765	0,762	-0,162	1,000	8,218*	0,003
	Lazítás	-0,129	1,000	2,085	0,998	10,860*	0,000
	Direktvetés	1,150	0,976	5,276	0,206	3,986	0,107
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	2,324	0,215	-7,675*	0,003	-13,745*	0,000
	Kultivátoros	3,063*	0,000	-3,561	0,282	0,194	1,000
	Szántás	0,558	1,000	-7,837*	0,000	-5,527	0,077
	Lazítás	2,195*	0,001	-5,590*	0,015	-2,885	0,301
	Direktvetés	3,474*	0,000	-2,400	0,820	-9,759*	0,000
Kultivátoros	Tárcsázás	-0,740	1,000	-4,115	0,588	-13,939*	0,000
	Sekély Kultivátoros	-3,063*	0,000	3,561	0,282	-0,194	1,000
	Szántás	-2,505*	0,007	-4,276	0,258	-5,720	0,061
	Lazítás	-0,868	0,586	-2,030	0,994	-3,078	0,232
	Direktvetés	0,411	0,999	1,162	1,000	-9,953*	0,000
Szántás	Tárcsázás	1,765	0,762	0,162	1,000	-8,218*	0,003
	Sekély Kultivátoros	-0,558	1,000	7,837*	0,000	5,527	0,077
	Kultivátoros	2,505*	0,007	4,276	0,258	5,720	0,061
	Lazítás	1,637	0,288	2,247	0,978	2,642	0,954
	Direktvetés	2,915*	0,002	5,437*	0,046	-4,233	0,402
Lazítás	Tárcsázás	0,129	1,000	-2,085	0,998	-10,860*	0,000
	Sekély Kultivátoros	-2,195*	0,001	5,590*	0,015	2,885	0,301
	Kultivátoros	0,868	0,586	2,030	0,994	3,078	0,232
	Szántás	-1,637	0,288	-2,247	0,978	-2,642	0,954
	Direktvetés	1,279	0,255	3,191	0,768	-6,875*	0,000
Direktvetés	Tárcsázás	-1,150	0,976	-5,276	0,206	-3,986	0,107
	Sekély Kultivátoros	-3,474*	0,000	2,400	0,820	9,759*	0,000
	Kultivátoros	-0,411	0,999	-1,162	1,000	9,953*	0,000
	Szántás	-2,915*	0,002	-5,437*	0,046	4,233	0,402
	Lazítás	-1,279	0,255	-3,191	0,768	6,875*	0,000

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.2a. melléklet: az aprómorzsa frakció ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA Aprómorzsa					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	348,283	5	69,657	2,714	,023
Within Groups	3542,387	138	25,669		
Total	3890,670	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1180,546	5	236,109	2,352	,044
Within Groups	13855,512	138	100,402		
Total	15036,057	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4973,121	5	994,624	33,639	,000
Within Groups	4080,294	138	29,567		
Total	9053,415	143			

4.2b. melléklet: Az aprómorzsa frakció post-hoc tesztjének eredményei

Aprómorzsa (%)		2014 (Napralforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		Tamhane T2		Tamhane T2		LSD	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	-3,713	0,056	0,384	1,000	-12,425*	,000
	Kultivátoros	-1,678	0,894	3,228	0,984	-12,872*	,000
	Szántás	-3,778	0,138	-3,184	0,999	2,390	,130
	Lazítás	-0,888	1,000	-0,340	1,000	-8,528*	,000
	Direktvetés	-0,090	1,000	5,853	0,537	-9,038*	,000
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	3,713	0,056	-0,384	1,000	12,425*	,000
	Kultivátoros	2,035	0,961	2,844	0,984	-,447	,776
	Szántás	-0,064	1,000	-3,568	0,990	14,815*	,000
	Lazítás	2,826	0,699	-0,723	1,000	3,896*	,014
	Direktvetés	3,623	0,276	5,469	0,476	3,386*	,033
Kultivátoros	Tárcsázás	1,678	0,894	-3,228	0,984	12,872*	,000
	Sekély Kultivátoros	-2,035	0,961	-2,844	0,984	-,447	,776
	Szántás	-2,100	0,976	-6,412	0,466	15,263*	,000
	Lazítás	0,790	1,000	-3,567	0,944	4,344*	,006
	Direktvetés	1,588	0,993	2,625	0,994	3,834*	,016
Szántás	Tárcsázás	3,778	0,138	3,184	0,999	-2,390	,130
	Sekély Kultivátoros	0,064	1,000	3,568	0,990	-14,815*	,000
	Kultivátoros	2,100	0,976	6,412	0,466	-15,263*	,000
	Lazítás	2,890	0,782	2,845	0,999	-10,919*	,000
	Direktvetés	3,688	0,386	9,037	0,105	-11,429*	,000
Lazítás	Tárcsázás	0,888	1,000	0,340	1,000	8,528*	,000
	Sekély Kultivátoros	-2,826	0,699	0,723	1,000	-3,896*	,014
	Kultivátoros	-0,790	1,000	3,567	0,944	-4,344*	,006
	Szántás	-2,890	0,782	-2,845	0,999	10,919*	,000
	Direktvetés	0,798	1,000	6,192	0,381	-,509	,746
Direktvetés	Tárcsázás	0,090	1,000	-5,853	0,537	9,038*	,000
	Sekély Kultivátoros	-3,623	0,276	-5,469	0,476	-3,386*	,033
	Kultivátoros	-1,588	0,993	-2,625	0,994	-3,834*	,016
	Szántás	-3,688	0,386	-9,037	0,105	11,429*	,000
	Lazítás	-0,798	1,000	-6,192	0,381	-,509	,746

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.3a melléklet: a morzsafrakció ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA morzsa					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2114,140	5	422,828	18,612	,000
Within Groups	3135,159	138	22,719		
Total	5249,299	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4544,116	5	908,823	18,999	,000
Within Groups	6601,390	138	47,836		
Total	11145,505	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1842,652	5	368,530	25,677	,000
Within Groups	1980,632	138	14,352		
Total	3823,284	143			

4.3b melléklet: A morzsafrakció post-hoc tesztjének eredményei

Morzsa (%)		2014 (Napraforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		LSD		LSD		Tamhane T2	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	-7,327*	,000	-10,332*	,000	-6,271*	0,000
	Kultivátoros	-8,774*	,000	-9,876*	,000	-6,059*	0,000
	Szántás	1,689	,222	4,030*	,045	-10,276*	0,000
	Lazítás	-5,179*	,000	-3,534	,079	-7,149*	0,000
	Direktvetés	-6,242*	,000	-10,332*	,000	-0,920	0,992
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	7,327*	,000	10,3329*	,000	6,271*	0,000
	Kultivátoros	-1,447	,295	,456	,819	0,212	1,000
	Szántás	9,016*	,000	14,362*	,000	-4,005*	0,006
	Lazítás	2,148	,121	6,798*	,001	-0,878	1,000
	Direktvetés	1,084	,432	,00083	1,000	5,352*	0,000
Kultivátoros	Tárcsázás	8,774*	,000	9,876*	,000	6,059*	0,000
	Sekély Kultivátoros	1,447	,295	-,456	,819	-0,212	1,000
	Szántás	10,463*	,000	13,906*	,000	-4,217*	0,003
	Lazítás	3,595*	,010	6,342*	,002	-1,090	1,000
	Direktvetés	2,531	,068	-,455	,820	5,140*	0,000
Szántás	Tárcsázás	-1,689	,222	-4,030*	,045	10,276*	0,000
	Sekély Kultivátoros	-9,016*	,000	-14,362*	,000	4,005*	0,006
	Kultivátoros	-10,463*	,000	-13,906*	,000	4,217*	0,003
	Lazítás	-6,868*	,000	-7,564*	,000	3,127	0,592
	Direktvetés	-7,932*	,000	-14,362*	,000	9,357*	0,000
Lazítás	Tárcsázás	5,179*	,000	3,534	,079	7,149*	0,000
	Sekély Kultivátoros	-2,148	,121	-6,798*	,001	0,878	1,000
	Kultivátoros	-3,595*	,010	-6,342*	,002	1,090	1,000
	Szántás	6,868*	,000	7,564*	,000	-3,127	0,592
	Direktvetés	-1,064	,441	-6,797*	,001	6,230*	0,002
Direktvetés	Tárcsázás	6,242*	,000	10,332*	,000	0,920	0,992
	Sekély Kultivátoros	-1,084	,432	-,0008	1,000	-5,352*	0,000
	Kultivátoros	-2,531	,068	,455	,820	-5,140*	0,000
	Szántás	7,932*	,000	14,362*	,000	-9,357*	0,000
	Lazítás	1,064	,441	6,797*	,001	-6,230*	0,002

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.4a melléklet: a rögfrakció ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA Rög					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1527,726	5	305,545	19,622	,000
Within Groups	2148,868	138	15,572		
Total	3676,594	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	276,769	5	55,354	1,163	,330
Within Groups	6567,194	138	47,588		
Total	6843,963	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	938,044	5	187,609	6,723	,000
Within Groups	3850,967	138	27,906		
Total	4789,011	143			

4.4b melléklet: A rögfrakció post-hoc tesztjének eredményei

Rög (%)		2014 (Napraforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		Tamhane T2		LSD		LSD	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	9,583*	0,000	2,273	0,256	4,951*	0,001
	Kultivátoros	9,738*	0,000	2,536	0,205	4,994*	0,001
	Szántás	5,909*	0,000	-0,683	0,732	-0,334	0,827
	Lazítás	6,597*	0,000	1,790	0,370	4,816*	0,002
	Direktvetés	5,194*	0,017	-0,796	0,690	5,974*	0,000
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-9,583*	0,000	-2,273	0,256	-4,951*	0,001
	Kultivátoros	0,155	1,000	0,263	0,895	0,043	0,977
	Szántás	-3,6740*	0,004	-2,956	0,140	-5,285*	0,001
	Lazítás	-2,986*	0,046	-0,483	0,809	-0,135	0,930
	Direktvetés	-4,388*	0,016	-3,069	0,126	1,023	0,503
Kultivátoros	Tárcsázás	-9,738*	0,000	-2,536	0,205	-4,994*	0,001
	Sekély Kultivátoros	-0,155	1,000	-0,263	0,895	-0,043	0,977
	Szántás	-3,829*	0,001	-3,219	0,108	-5,328*	0,001
	Lazítás	-3,141*	0,020	-0,746	0,708	-0,178	0,907
	Direktvetés	-4,543*	0,009	-3,332	0,097	0,980	0,522
Szántás	Tárcsázás	-5,909*	0,000	0,683	0,732	0,334	0,827
	Sekély Kultivátoros	3,674*	0,004	2,956	0,140	5,285*	0,001
	Kultivátoros	3,829*	0,001	3,219	0,108	5,328*	0,001
	Lazítás	0,688	1,000	2,473	0,216	5,150*	0,001
	Direktvetés	-0,714	1,000	-0,113	0,955	6,308*	0,000
Lazítás	Tárcsázás	-6,597*	0,000	-1,790	0,370	-4,816*	0,002
	Sekély Kultivátoros	2,986*	0,046	0,483	0,809	0,135	0,930
	Kultivátoros	3,141*	0,020	0,746	0,708	0,178	0,907
	Szántás	-0,688	1,000	-2,473	0,216	-5,150*	0,001
	Direktvetés	-1,402	0,996	-2,586	0,196	1,158	0,449
Direktvetés	Tárcsázás	-5,194*	0,017	0,796	0,690	-5,974*	0,000
	Sekély Kultivátoros	4,388*	0,016	3,069	0,126	-1,023	0,503
	Kultivátoros	4,543*	0,009	3,332	0,097	-0,980	0,522
	Szántás	0,714	1,000	0,113	0,955	-6,308*	0,000
	Lazítás	1,402	0,996	2,586	0,196	-1,158	0,449

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.5 melléklet: A penetrációs ellenállás post-hoc tesztjének eredményei

Multiple Comparisons

Tamhane

Talajnedesség (m/m%) 2014 - 2016			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
0 - 15 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	1,41186	,59499	,250	-,3600	3,1837
		Kultivátoros	1,58666	,59383	,119	-,1818	3,3551
		Szántás	2,03470*	,61359	,017	,2072	3,8622
		Lazítás	1,56317	,58751	,123	-,1864	3,3127
		Direktvetés	-,06111	,64383	1,000	-1,9794	1,8572
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-1,41186	,59499	,250	-3,1837	,3600
		Kultivátoros	,17480	,60433	1,000	-1,6249	1,9745
		Szántás	,62284	,62376	,997	-1,2348	2,4805
		Lazítás	,15131	,59812	1,000	-1,6299	1,9325
		Direktvetés	-1,47297	,65353	,324	-3,4198	,4739
	Kultivátoros	Tárcsázás	-1,58666	,59383	,119	-3,3551	,1818
		Sekély Kultivátoros	-,17480	,60433	1,000	-1,9745	1,6249
		Szántás	,44804	,62265	1,000	-1,4063	2,3024
		Lazítás	-,02349	,59697	1,000	-1,8012	1,7542
		Direktvetés	-1,64777	,65247	,174	-3,5915	,2959
	Szántás	Tárcsázás	-2,03470*	,61359	,017	-3,8622	-,2072
		Sekély Kultivátoros	-,62284	,62376	,997	-2,4805	1,2348
		Kultivátoros	-,44804	,62265	1,000	-2,3024	1,4063
		Lazítás	-,47153	,61663	1,000	-2,3080	1,3650
		Direktvetés	-2,09581*	,67051	,032	-4,0928	-,0988
	Lazítás	Tárcsázás	-1,56317	,58751	,123	-3,3127	,1864
		Sekély Kultivátoros	-,15131	,59812	1,000	-1,9325	1,6299
		Kultivátoros	,02349	,59697	1,000	-1,7542	1,8012
		Szántás	,47153	,61663	1,000	-1,3650	2,3080
		Direktvetés	-1,62428	,64673	,180	-3,5511	,3025
	Direktvetés	Tárcsázás	,06111	,64383	1,000	-1,8572	1,9794
		Sekély Kultivátoros	1,47297	,65353	,324	-,4739	3,4198
		Kultivátoros	1,64777	,65247	,174	-,2959	3,5915
		Szántás	2,09581*	,67051	,032	,0988	4,0928
		Lazítás	1,62428	,64673	,180	-,3025	3,5511
15 - 30 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,08745	,39545	1,000	-1,0902	1,2651
		Kultivátoros	,08641	,40336	1,000	-1,1148	1,2876
		Szántás	1,46302*	,48863	,048	,0055	2,9206
		Lazítás	,86048	,43326	,529	-,4301	2,1511
		Direktvetés	,36376	,48268	1,000	-1,0758	1,8033
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-,08745	,39545	1,000	-1,2651	1,0902
		Kultivátoros	-,00105	,39402	1,000	-1,1744	1,1723
		Szántás	1,37556	,48095	,072	-,0598	2,8109
		Lazítás	,77302	,42458	,668	-,4920	2,0380
		Direktvetés	,27630	,47490	1,000	-1,1407	1,6933
	Kultivátoros	Tárcsázás	-,08641	,40336	1,000	-1,2876	1,1148
		Sekély Kultivátoros	,00105	,39402	1,000	-1,1723	1,1744
		Szántás	1,37661	,48747	,079	-,0776	2,8308
		Lazítás	,77407	,43195	,691	-,5126	2,0608
		Direktvetés	,27735	,48150	1,000	-1,1588	1,7135
	Szántás	Tárcsázás	-1,46302*	,48863	,048	-2,9206	-,0055
		Sekély Kultivátoros	-1,37556	,48095	,072	-2,8109	,0598
		Kultivátoros	-1,37661	,48747	,079	-2,8308	,0776
		Lazítás	-,60254	,51249	,984	-2,1297	,9246

	Direktvetés		-1,09926	,55489	,533	-2,7517	,5532
Lazítás	Tárcsázás		-,86048	,43326	,529	-2,1511	,4301
	Sekély Kultivátoros		-,77302	,42458	,668	-2,0380	,4920
	Kultivátoros		-,77407	,43195	,691	-2,0608	,5126
	Szántás		,60254	,51249	,984	-,9246	2,1297
	Direktvetés		-,49672	,50681	,997	-2,0068	1,0133
	Direktvetés	Tárcsázás	-,36376	,48268	1,000	-1,8033	1,0758
		Sekély Kultivátoros	-,27630	,47490	1,000	-1,6933	1,1407
		Kultivátoros	-,27735	,48150	1,000	-1,7135	1,1588
		Szántás	1,09926	,55489	,533	-,5532	2,7517
		Lazítás	,49672	,50681	,997	-1,0133	2,0068
30 - 50 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,28357	,49396	1,000	-1,1874	1,7546
		Kultivátoros	-,48869	,45317	,993	-1,8394	,8620
		Szántás	-,09568	,51548	1,000	-1,6308	1,4394
		Lazítás	-,33262	,46197	1,000	-1,7091	1,0439
		Direktvetés	,00324	,51100	1,000	-1,5185	1,5250
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-,28357	,49396	1,000	-1,7546	1,1874
		Kultivátoros	-,77226	,44349	,731	-2,0938	,5493
		Szántás	-,37925	,50699	1,000	-1,8892	1,1307
		Lazítás	-,61619	,45247	,945	-1,9641	,7318
		Direktvetés	-,28033	,50243	1,000	-1,7766	1,2160
	Kultivátoros	Tárcsázás	,48869	,45317	,993	-,8620	1,8394
		Sekély Kultivátoros	,77226	,44349	,731	-,5493	2,0938
		Szántás	,39301	,46734	1,000	-1,0005	1,7865
		Lazítás	,15607	,40756	1,000	-1,0577	1,3698
		Direktvetés	,49192	,46239	,994	-,8866	1,8705
	Szántás	Tárcsázás	,09568	,51548	1,000	-1,4394	1,6308
		Sekély Kultivátoros	,37925	,50699	1,000	-1,1307	1,8892
		Kultivátoros	-,39301	,46734	1,000	-1,7865	1,0005
		Lazítás	-,23694	,47588	1,000	-1,6554	1,1815
		Direktvetés	,09891	,52361	1,000	-1,4603	1,6582
	Lazítás	Tárcsázás	,33262	,46197	1,000	-1,0439	1,7091
		Sekély Kultivátoros	,61619	,45247	,945	-,7318	1,9641
		Kultivátoros	-,15607	,40756	1,000	-1,3698	1,0577
		Szántás	,23694	,47588	1,000	-1,1815	1,6554
		Direktvetés	,33585	,47102	1,000	-1,0679	1,7396
	Direktvetés	Tárcsázás	-,00324	,51100	1,000	-1,5250	1,5185
		Sekély Kultivátoros	,28033	,50243	1,000	-1,2160	1,7766
		Kultivátoros	-,49192	,46239	,994	-1,8705	,8866
		Szántás	-,09891	,52361	1,000	-1,6582	1,4603
		Lazítás	-,33585	,47102	1,000	-1,7396	1,0679

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Növény = Napraforgó (2014)

4.6 melléklet: A penetrációs ellenállás post-hoc tesztjének eredményei

Multiple Comparisons

Tamhane

Penetrációs ellenállás (MPa) 2014 - 2016			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
0-15 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,31573	,25733	,977	-,4506	1,0821
		Kultivátoros	1,23845*	,21741	,000	,5899	1,8870
		Szántás	1,66363*	,19856	,000	1,0690	2,2583
		Lazítás	1,10972*	,22730	,000	,4324	1,7871
		Direktvetés	,28575	,25405	,990	-,4708	1,0423
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-,31573	,25733	,977	-1,0821	,4506
		Kultivátoros	,92272*	,22670	,001	,2461	1,5994
		Szántás	1,34790*	,20869	,000	,7224	1,9734
		Lazítás	,79399*	,23620	,015	,0898	1,4982
		Direktvetés	-,02998	,26204	1,000	-,8103	,7504
	Kultivátoros	Tárcsázás	-1,23845*	,21741	,000	-1,8870	-,5899
		Sekély Kultivátoros	-,92272*	,22670	,001	-1,5994	-,2461
		Szántás	,42518	,15684	,108	-,0427	,8930
		Lazítás	-,12873	,19193	1,000	-,7004	,4429
		Direktvetés	-,95270*	,22296	,001	-1,6180	-,2874
	Szántás	Tárcsázás	-1,66363*	,19856	,000	-2,2583	-1,0690
		Sekély Kultivátoros	-1,34790*	,20869	,000	-1,9734	-,7224
		Kultivátoros	-,42518	,15684	,108	-,8930	,0427
		Lazítás	-,55391*	,17028	,022	-1,0625	-,0453
		Direktvetés	-1,37788*	,20463	,000	-1,9910	-,7648
	Lazítás	Tárcsázás	-1,10972*	,22730	,000	-1,7871	-,4324
		Sekély Kultivátoros	-,79399*	,23620	,015	-1,4982	-,0898
		Kultivátoros	,12873	,19193	1,000	-,4429	,7004
		Szántás	,55391*	,17028	,022	,0453	1,0625
		Direktvetés	-,82397*	,23262	,008	-1,5174	-,1306
	Direktvetés	Tárcsázás	-,28575	,25405	,990	-1,0423	,4708
		Sekély Kultivátoros	,02998	,26204	1,000	-,7504	,8103
		Kultivátoros	,95270*	,22296	,001	,2874	1,6180
		Szántás	1,37788*	,20463	,000	,7648	1,9910
		Lazítás	,82397*	,23262	,008	,1306	1,5174
15- 30 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,62437	,26401	,255	-,1619	1,4106
		Kultivátoros	,52962	,27021	,551	-,2752	1,3345
		Szántás	,87129*	,26920	,022	,0695	1,6731
		Lazítás	,74720	,28434	,134	-,1001	1,5945
		Direktvetés	,12419	,26507	1,000	-,6652	,9136
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-,62437	,26401	,255	-1,4106	,1619
		Kultivátoros	-,09474	,27946	1,000	-,9270	,7375
		Szántás	,24693	,27849	,999	-,5824	1,0763
		Lazítás	,12284	,29315	1,000	-,7504	,9961
		Direktvetés	-,50017	,27450	,666	-1,3176	,3173
	Kultivátoros	Tárcsázás	-,52962	,27021	,551	-1,3345	,2752
		Sekély Kultivátoros	,09474	,27946	1,000	-,7375	,9270
		Szántás	,34167	,28437	,981	-,5052	1,1885
		Lazítás	,21758	,29874	1,000	-,6722	1,1073
		Direktvetés	-,40543	,28046	,913	-1,2406	,4298
	Szántás	Tárcsázás	-,87129*	,26920	,022	-1,6731	-,0695
		Sekély Kultivátoros	-,24693	,27849	,999	-1,0763	,5824
		Kultivátoros	-,34167	,28437	,981	-1,1885	,5052
		Lazítás	-,12409	,29784	1,000	-1,0112	,7630

	Direktvetés		- ,74710	,27949	,119	-1,5794	,0852
Lazítás	Tárcsázás		- ,74720	,28434	,134	-1,5945	,1001
	Sekély Kultivátoros		- ,12284	,29315	1,000	- ,9961	,7504
	Kultivátoros		- ,21758	,29874	1,000	-1,1073	,6722
	Szántás		,12409	,29784	1,000	- ,7630	1,0112
	Direktvetés		- ,62301	,29410	,422	-1,4990	,2530
	Direktvetés	Tárcsázás	- ,12419	,26507	1,000	- ,9136	,6652
		Sekély Kultivátoros	,50017	,27450	,666	- ,3173	1,3176
		Kultivátoros	,40543	,28046	,913	- ,4298	1,2406
		Szántás	,74710	,27949	,119	- ,0852	1,5794
		Lazítás	,62301	,29410	,422	- ,2530	1,4990
30 - 50 cm	Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,78290*	,25150	,033	,0339	1,5319
		Kultivátoros	,15986	,26112	1,000	- ,6178	,9376
		Szántás	,22987	,26108	,999	- ,5477	1,0074
		Lazítás	,26680	,27290	,998	- ,5462	1,0798
		Direktvetés	,07634	,26151	1,000	- ,7025	,8552
	Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	- ,78290*	,25150	,033	-1,5319	- ,0339
		Kultivátoros	- ,62304	,26323	,253	-1,4070	,1609
		Szántás	- ,55303	,26319	,435	-1,3369	,2308
		Lazítás	- ,51610	,27492	,621	-1,3351	,3029
		Direktvetés	- ,70656	,26362	,117	-1,4917	,0786
	Kultivátoros	Tárcsázás	- ,15986	,26112	1,000	- ,9376	,6178
		Sekély Kultivátoros	,62304	,26323	,253	- ,1609	1,4070
		Szántás	,07001	,27240	1,000	- ,7412	,8812
		Lazítás	,10694	,28374	1,000	- ,7381	,9520
		Direktvetés	- ,08352	,27281	1,000	- ,8959	,7289
	Szántás	Tárcsázás	- ,22987	,26108	,999	-1,0074	,5477
		Sekély Kultivátoros	,55303	,26319	,435	- ,2308	1,3369
		Kultivátoros	- ,07001	,27240	1,000	- ,8812	,7412
		Lazítás	,03693	,28371	1,000	- ,8080	,8819
		Direktvetés	- ,15353	,27277	1,000	- ,9658	,6588
	Lazítás	Tárcsázás	- ,26680	,27290	,998	-1,0798	,5462
		Sekély Kultivátoros	,51610	,27492	,621	- ,3029	1,3351
		Kultivátoros	- ,10694	,28374	1,000	- ,9520	,7381
		Szántás	- ,03693	,28371	1,000	- ,8819	,8080
		Direktvetés	- ,19046	,28410	1,000	-1,0366	,6557
	Direktvetés	Tárcsázás	- ,07634	,26151	1,000	- ,8552	,7025
		Sekély Kultivátoros	,70656	,26362	,117	- ,0786	1,4917
		Kultivátoros	,08352	,27281	1,000	- ,7289	,8959
		Szántás	,15353	,27277	1,000	- ,6588	,9658
		Lazítás	,19046	,28410	1,000	- ,6557	1,0366

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Növény = Napraforgó (2014)

4.7a melléklet: a kéregvastagság ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA Kéreg					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1969,507	5	393,901	8,847	,000
Within Groups	6144,001	138	44,522		
Total	8113,508	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1260,051	5	252,010	20,095	,000
Within Groups	1730,643	138	12,541		
Total	2990,694	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3390,372	5	678,074	11,743	,000
Within Groups	7968,365	138	57,742		
Total	11358,737	143			

4.7b melléklet: A kéregvastagság post-hoc tesztjének eredményei

Kéreg (mm)		2014 (Napraforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		Tamhane T2		Tamhane T2		Tamhane T2	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	6,066*	0,007	8,905*	0,000	11,268*	0,000
	Kultivátoros	4,893*	0,046	7,245*	0,000	10,477*	0,000
	Szántás	-4,910	0,455	2,731	0,561	2,113	0,998
	Lazítás	1,816	0,997	6,299*	0,000	10,774*	0,000
	Direktvetés	4,317	0,380	5,707*	0,001	1,577	1,000
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-6,066*	0,007	-8,905*	0,000	-11,268*	0,000
	Kultivátoros	-1,173	0,999	-1,660	0,202	-0,791	1,000
	Szántás	-10,977*	0,000	-6,174*	0,000	-9,155*	0,000
	Lazítás	-4,250	0,195	-2,606*	0,006	-0,494	1,000
	Direktvetés	-1,749	0,998	-3,198*	0,009	-9,691*	0,010
Kultivátoros	Tárcsázás	-4,893*	0,046	-7,245*	0,000	-10,477*	0,000
	Sekély Kultivátoros	1,173	0,999	1,660	0,202	0,791	1,000
	Szántás	-9,803*	0,001	-4,515*	0,001	-8,364*	0,001
	Lazítás	-3,077	0,639	-0,946	0,959	0,297	1,000
	Direktvetés	-0,576	1,000	-1,538	0,750	-8,900*	0,027
Szántás	Tárcsázás	4,910	0,455	-2,731	0,561	-2,113	0,998
	Sekély Kultivátoros	10,977*	0,000	6,174*	0,000	9,155*	0,000
	Kultivátoros	9,803*	0,001	4,515*	0,001	8,364*	0,001
	Lazítás	6,727	0,095	3,568*	0,022	8,661*	0,000
	Direktvetés	9,227*	0,007	2,977	0,187	-0,536	1,000
Lazítás	Tárcsázás	-1,816	0,997	-6,299*	0,000	-10,774*	0,000
	Sekély Kultivátoros	4,250	0,195	2,606*	0,006	0,494	1,000
	Kultivátoros	3,077	0,639	0,946	0,959	-0,297	1,000
	Szántás	-6,727	0,095	-3,568*	0,022	-8,661*	0,000
	Direktvetés	2,501	0,974	-0,592	1,000	-9,197*	0,017
Direktvetés	Tárcsázás	-4,317	0,380	-5,707*	0,001	-1,577	1,000
	Sekély Kultivátoros	1,749	0,998	3,198*	0,009	9,691*	0,010
	Kultivátoros	0,576	1,000	1,538	0,750	8,900*	0,027
	Szántás	-9,227*	0,007	-2,977	0,187	0,536	1,000
	Lazítás	-2,501	0,974	0,592	1,000	9,197*	0,017

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.8a melléklet: a földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredménye

ANOVA Kéreg					
2014	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	401,112	5	80,222	4,802	,000
Within Groups	2305,482	138	16,706		
Total	2706,594	143			
2015	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	39164,287	5	7832,857	3,219	,009
Within Groups	335752,796	138	2432,991		
Total	374917,083	143			
2016	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3385,535	5	677,107	9,137	,000
Within Groups	10226,292	138	74,104		
Total	13611,826	143			

4.8b melléklet: A földigilisztaszám post-hoc tesztjének eredményei

Földigilisztaszám		2014 (Napraforgó)		2015 (Őszi búza)		2016 (Kukorica)	
Post-hoc teszt		Tamhane T2		Tamhane T2		Tamhane T2	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	-2,799	0,485	-4,250	1,000	-0,875	-8,926
	Kultivátoros	-0,948	0,993	18,250	0,869	-2,875	-11,37
	Szántás	1,298	0,467	26,250	0,373	7,958*	0,607
	Lazítás	0,350	1,000	19,528	0,805	2,125	-5,708
	Direktvetés	-3,329	0,381	-21,361	0,998	-8,042	-19,22
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	2,799	0,485	4,250	1,000	0,875	-7,176
	Kultivátoros	1,851	0,952	22,500	0,575	-2,000	-8,298
	Szántás	4,097*	0,035	30,500	0,154	8,833*	4,552
	Lazítás	3,149	0,233	23,778	0,488	3,000	-2,191
	Direktvetés	-0,530	1,000	-17,111	1,000	-7,167	-17,00
Kultivátoros	Tárcsázás	0,948	0,993	-18,250	0,869	2,875	-5,629
	Sekély Kultivátoros	-1,851	0,952	-22,500	0,575	2,000	-4,298
	Szántás	2,246*	0,036	8,000*	0,003	10,833*	5,566
	Lazítás	1,298	0,738	1,278	1,000	5,000	-0,985
	Direktvetés	-2,381	0,861	-39,611	0,507	-5,167	-15,35
Szántás	Tárcsázás	-1,298	0,467	-26,250	0,373	-7,958*	-15,30
	Sekély Kultivátoros	-4,097*	0,035	-30,500	0,154	-8,833*	-13,11
	Kultivátoros	-2,246*	0,036	-8,000*	0,003	-10,833*	-16,10
	Lazítás	-0,948	0,203	-6,722*	0,013	-5,833*	-9,538
	Direktvetés	-4,626*	0,036	-47,611	0,240	-16,000*	-25,31
Lazítás	Tárcsázás	-0,350	1,000	-19,528	0,805	-2,125	-9,958
	Sekély Kultivátoros	-3,149	0,233	-23,778	0,488	-3,000	-8,191
	Kultivátoros	-1,298	0,738	-1,278	1,000	-5,000	-10,98
	Szántás	0,948	0,203	6,722*	0,013	5,833*	2,129
	Direktvetés	-3,679	0,193	-40,889	0,457	-10,166*	-19,84
Direktvetés	Tárcsázás	3,329	0,381	21,361	0,998	8,042	-3,141
	Sekély Kultivátoros	0,530	1,000	17,111	1,000	7,167	-2,675
	Kultivátoros	2,381	0,861	39,611	0,507	5,167	-5,022
	Szántás	4,626*	0,036	47,611	0,240	16,000*	6,687
	Lazítás	3,679	0,193	40,889	0,457	10,166*	0,490

*The mean difference is significant at the 0.05 level.

4.9 melléklet: A MANOVA vizsgálat statisztikai táblázata

Source	Dependent variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Növény * Kezelés	Por	135,547	5	27,109	7,628	,000
	Aprómorzsa	390,760	5	78,152	2,979	,012
	Kéreg vastagság	193,969	5	38,794	3,999	,002
	Nedv. 0-15cm	43,661	5	8,732	4,079	,001
	Morzsa	176,818	5	35,364	3,856	,002
	Rög	457,344	5	91,469	4,814	,000
	Gilisztaszám	145,274	5	29,055	10,806	,000
	Nedv. 15-30 cm	31,937	5	6,387	9,057	,000
	Nedv. 30-50 cm	26,671	5	5,334	7,790	,000
	Penet. 0-15 cm	7,646	5	1,529	5,784	,000
	Penet. 15-30 cm	5,214	5	1,043	3,620	,003
	Penet. 30-50 cm	2,126	5	,425	1,453	,205^{ns}
	Termés	703762,833	5	140752,567	,744	,591^{ns}

Source	Dependent variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Növény * Vegetációs időszakbéli csapadék	Por	14,007	1	14,007	3,941	,048
	Aprómorzsa	13,328	1	13,328	,508	,477^{ns}
	Kéreg vastagság	,460	1	,460	,047	,828^{ns}
	Nedv. 0-15cm	257,565	1	257,565	120,327	,000
	Morzsa	5,444	1	5,444	,594	,442^{ns}
	Rög	25,585	1	25,585	1,346	,247^{ns}
	Gilisztaszám	62,263	1	62,263	23,158	,000
	Nedv. 15-30 cm	39,126	1	39,126	55,476	,000
	Nedv. 30-50 cm	,990	1	,990	1,445	,230^{ns}
	Penet. 0-15 cm	32,726	1	32,726	123,769	,000
	Penet. 15-30 cm	47,797	1	47,797	165,933	,000
	Penet. 30-50 cm	42,613	1	42,613	145,614	,000
	Termés	,000	1	,000	,000	1,000^{ns}

Source	Dependent variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kezelés * Vegetációs időszakbéli csapadék	Por	1802,043	70	25,743	7,244	,000
	Aprómorzsa	2715,762	70	38,797	1,479	,013
	Kéreg vastagság	2945,793	70	42,083	4,338	,000
	Nedv. 0-15cm	429,190	70	6,131	2,864	,000
	Morzsa	2494,127	70	35,630	3,885	,000
	Rög	1579,025	70	22,558	1,187	,165^{ns}
	Gilisztaszám	159386,167	70	2276,945	846,874	,000
	Nedv. 15-30 cm	206,436	70	2,949	4,181	,000
	Nedv. 30-50 cm	191,014	70	2,729	3,985	,000
	Penet. 0-15 cm	51,574	70	,737	2,786	,000
	Penet. 15-30 cm	54,708	70	,782	2,713	,000
	Penet. 30-50 cm	43,988	70	,628	2,147	,000
	Termés	,000	70	,000	,000	1,000^{ns}

Source	Dependent variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Növény *	Por	53,854	5	10,771	3,031	,011
Kezelés *	Aprómorzsa	335,378	5	67,076	2,556	,027
Vegetációs időszakbéli csapadék	Kéreg vastagság	30,135	5	6,027	,621	,684^{ns}
	Nedv. 0-15cm	41,233	5	8,247	3,853	,002
	Morzsa	163,121	5	32,624	3,557	,004
	Rög	148,220	5	29,644	1,560	,171^{ns}
	Gilisztaszám	88,916	5	17,783	6,614	,000
	Nedv. 15-30 cm	22,728	5	4,546	6,445	,000
	Nedv. 30-50 cm	15,322	5	3,064	4,475	,001
	Penet. 0-15 cm	4,395	5	,879	3,324	,006
	Penet. 15-30 cm	7,738	5	1,548	5,372	,000
	Penet. 30-50 cm	1,485	5	,297	1,015	,409^{ns}
	Termés	,000	5	,000	,000	1,000^{ns}

4.10 melléklet: A humusztartalom vizsgálatának statisztikai táblázata

Humusztartalom Mélység		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm	
Post-hoc teszt		LSD		LSD		LSD		LSD	
Művelési mód (I)	Művelési mód (J)	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.	Átlagok különbsége (I-J)	Sig.
Tárcsázás	Sekély Kultivátoros	,267*	,022	-,055	,638	-,055	,691	-,060	,644
	Kultivátoros	,370*	,002	-,0650	,584	-,017	,899	-,322*	,016
	Szántás	,724*	,000	,082	,487	-,139	,317	-,261*	,050
	Lazítás	,515*	,000	,045	,704	,057	,678	-,082	,531
	Direktvetés	,0741	,518	,129	,278	,172	,216	,068	,604
Sekély Kultivátoros	Tárcsázás	-,267*	,022	,055	,638	,055	,691	,060	,644
	Kultivátoros	,103	,369	-,0091	,938	,037	,787	-,261*	,050
	Szántás	,456*	,000	,138	,245	-,084	,544	-,200	,130
	Lazítás	,248*	,033	,1008	,396	,1125	,418	-,021	,869
	Direktvetés	-,193	,095	,185	,122	,227	,104	,129	,328
Kultivátoros	Tárcsázás	-,370*	,002	,065	,584	,017	,899	,322*	,016
	Sekély Kultivátoros	-,103	,369	,009	,938	-,037	,787	,261*	,050
	Szántás	,353*	,003	,147	,216	-,121	,381	,060	,644
	Lazítás	,1450	,209	,110	,355	,075	,589	,240	,071
	Direktvetés	-,296*	,012	,194	,105	,190	,173	,390*	,004
Szántás	Tárcsázás	-,72*	,000	-,082	,487	,13917	,317	,261*	,050
	Sekély Kultivátoros	-,456*	,000	-,13	,245	,084	,544	,200	,130
	Kultivátoros	-,353*	,003	-,1475	,216	,121	,381	-,060	,644
	Lazítás	-,208	,073	-,037	,752	,196	,159	,179	,176
	Direktvetés	-,650*	,000	,0466	,694	,3116	,027*	,330*	,014
Lazítás	Tárcsázás	-,515*	,000	-,045	,704	-,057	,678	,0825	,531
	Sekély Kultivátoros	-,248	,033	-,100	,396	-,112	,418	,021	,869
	Kultivátoros	-,145	,209	-,11	,355	-,0750	,589	-,240	,071
	Szántás	,2083	,073	,037	,752	-,196	,159	-,179	,176
	Direktvetés	-,441*	,000	,084	,478	,115	,408	,150	,254
Direktvetés	Tárcsázás	-,074	,518	-,129	,278	-,172	,216	-,0683	,604
	Sekély Kultivátoros	,19333	,095	-,18500	,122	-,22750	,104	-,12917	,328
	Kultivátoros	,29667	,012	-,19417	,105	-,19000	,173	-,39083	,004
	Szántás	,65000	,000	-,04667	,694	-,31167	,027	-,33000	,014
	Lazítás	,44167	,000	-,08417	,478	-,11500	,408	-,15083	,254

4.11 melléklet: Az Arany-féle kötöttség vizsgálatának statisztikai táblázata

Kezelés			Statistic	Std. Error
Arany-féle kötöttség	Tárcsázás	Mean	44,25	,147
		95% Confidence Interval for Mean		
		Lower Bound	43,95	
		Upper Bound	44,55	
		5% Trimmed Mean	44,27	
		Median	44,00	
		Variance	1,043	
		Std. Deviation	1,021	
		Minimum	42	
		Maximum	46	
		Range	4	
		Interquartile Range	1	
		Skewness	-,031	,343
		Kurtosis	-,289	,674
	Sekély Kultivátoros	Mean	43,96	,149
		95% Confidence Interval for Mean		
		Lower Bound	43,66	
		Upper Bound	44,26	
		5% Trimmed Mean	43,90	
		Median	44,00	
		Variance	1,062	
		Std. Deviation	1,031	
		Minimum	42	
		Maximum	47	
		Range	5	
		Interquartile Range	1	
		Skewness	1,060	,343
		Kurtosis	2,161	,674
	Kultivátoros	Mean	43,92	,168
		95% Confidence Interval for Mean		
		Lower Bound	43,58	
		Upper Bound	44,25	
		5% Trimmed Mean	43,86	
		Median	44,00	
		Variance	1,355	
		Std. Deviation	1,164	
		Minimum	42	
		Maximum	47	
		Range	5	
		Interquartile Range	2	
		Skewness	,675	,343
		Kurtosis	,663	,674
	Szántás	Mean	44,17	,213
		95% Confidence Interval for Mean		
		Lower Bound	43,74	
		Upper Bound	44,60	
		5% Trimmed Mean	44,23	
		Median	44,00	
		Variance	2,184	
		Std. Deviation	1,478	
		Minimum	40	
		Maximum	47	
		Range	7	
		Interquartile Range	2	
		Skewness	-,630	,343
		Kurtosis	1,196	,674
	Lazítás	Mean	44,46	,197
		95% Confidence Interval for Mean		
		Lower Bound	44,06	
		Upper Bound	44,86	
		5% Trimmed Mean	44,49	
		Median	44,00	
		Variance	1,871	

Direktvetés	Std. Deviation	1,368	
	Minimum	41	
	Maximum	47	
	Range	6	
	Interquartile Range	1	
	Skewness	-,169	,343
	Kurtosis	,425	,674
	Mean	44,17	,200
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 43,76 Upper Bound 44,57	
	5% Trimmed Mean	44,19	
	Median	44,00	
	Variance	1,929	
	Std. Deviation	1,389	
	Minimum	41	
	Maximum	47	
	Range	6	
	Interquartile Range	2	
	Skewness	-,112	,343
	Kurtosis	-,149	,674

ANOVA

Arany-féle kötöttség

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,444	5	1,889	1,200	,309
Within Groups	443,833	282	1,574		
Total	453,278	287			

M5. FOTÓMELLÉKLET



1. kép: Tartamkísérlet kultivátoros és sekélykultivátoros 2. kép: Tartamkísérlet tárcsázás kezelésének beállítása.
kezelésének beállítása.



3. kép: Tartamkísérlet szántás kezelésének beállítása. 4. kép: Tartamkísérlet lazítás kezelésének beállítása.



5. kép: Napraforgó vetése (2014).

6. kép: Napraforgó állomány a kísérletben (2014).



7. kép: Az őszi búza kelés után (2014).



8. kép: Az őszi búza betakarítása (2015).



9. kép: Kukorica betakarítása (2016).



10. kép: Talajnedvesség mérése.



11. kép: Kéregvastagság vizsgálata.



12. kép: Földigiliszta számlálás.



13. kép: Talajellenállás és nedvesség mérése.



14. kép: Művelési mélység mérése.

M6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Klímakár eredetű talajminőség romlás és kármegelőzés

című

Doktori (PhD) értekezésem elkészítéséhez,
a folyamatos szakmai és emberi iránymutatásért, valamint a szükséges kísérleti körülmények
biztosításáért és segítségért

köszönettel tartozom témavezetőmnek

Dr. Birkás Márta
egyetemi tanárnak,

valamint a statisztikai módszertanban való segítségéért

Dr. Vinogradov Szergej
egyetemi docensnek.

Szeretnék továbbá köszönetet mondani

a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztési Intézetének valamennyi jelenlegi és volt munkatársának, különös tekintettel
Pósa Barnabásnak és Dekemati Igornak;

a GAK Nonprofit Közhasznú Kft.
hatvani Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaságának és munkatársainak
Koreny Gábornak, Seprenyi Évának és Csordás Györgynek.

Megkülönböztetett köszönettel tartozom
családomnak és barátaimnak,
akik biztatása és segítsége nélkül nem tudtam volna boldogulni.