



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Gödöllő

Doktori (PhD) értekezés

**Búzafajták nitrogén műtrágya reakciójának kisparcellás- és a talaj
víztartalmának precíziós elemzése**

Balla István

Gödöllő

2016

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési- és Kertészeti

vezetője: Dr. Helyes Lajos

egyetemi tanár, MTA doktora

Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar

Kertészeti Technológiai Intézet

témavezető: Dr. Jolánkai Márton

egyetemi tanár, MTA doktora

Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar

Növénytermesztési Intézet

társtémavezető: Dr. Milics Gábor

egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	7
1.1.	A téma aktualitása és jelentősége	7
1.2.	Célkitűzések.....	11
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	13
2.1.	A precíziós gazdálkodásról általánosságban	13
2.1.1.	A termőhely-specifikus technológiák növénytermesztési területei.....	14
2.1.2.	A precíziós gazdálkodásban alkalmazott technológiák.....	15
2.2.	Az őszi búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) nitrogén-trágyázásának jelentősége	20
2.2.1.	A növényi nitrogénigény meghatározása	23
2.2.2.	Alap műtrágyázás	24
2.2.3.	A fejtrágyázás.....	25
2.3.	A talajnedvesség, mint meghatározó termésbefolyásoló tényező	27
2.3.1.	A talajnedvesség meghatározásának csoportosítása	31
2.3.1.1.	Gravimetrikus talajnedvesség-meghatározás	32
2.3.1.2.	A talaj elektromos ellenállásának mérése	33
2.3.1.3.	Tenziométeres talajnedvesség-mérés	34
2.3.1.4.	A γ -sugár gyengítésével történő mérési módszer	35
2.3.1.5.	A talajnedvesség meghatározása neutronszóródásos módszerrel	35
2.3.1.6.	Hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszer.....	36
2.3.1.7.	A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének (EC_a) mérése	37
2.4.	Az irodalmi áttekintés összefoglalója.....	39
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	41
3.1.	A kisparcellás tartamkísérletben alkalmazott anyagok és módszerek.....	41
3.1.1.	A kísérleti terület elhelyezkedése.....	41
3.1.2.	A kísérleti terület klímája	41

3.1.3. A kísérleti terület talaja	45
3.1.4. Parcella kialakítás, kísérleti elrendezés	45
3.1.5. Fajtaválasztás és a fajták rövid ismertetése	46
3.1.6. A tápanyagellátás	47
3.1.7. Talajművelés	48
3.1.8. A kísérletek beállításának és fenntartásának termesztéstechnológiai elemei	48
3.1.9. Statisztikai elemzés	49
3.2. A talajnedvesség értékének meghatározására alkalmazott eszközök és eljárások	50
3.2.1. A vizsgálatok helyszínének és agroökológiai adottságainak bemutatása	50
3.2.1.1. A kísérleti terület elhelyezkedése	50
3.2.1.2. A terület talaja	51
3.2.1.3. A mintavételek időpontjai	51
3.2.1.4. A méréseket megelőző időszak csapadékadatok	52
3.2.2. A mintavételi pontok elhelyezkedése, eloszlása, száma	54
3.2.3. A talajnedvesség- és fajlagos elektromos vezetőképesség-mérések eszközei és módszertana	58
3.2.3.1. Gravimetrikus nedvesség-meghatározás	58
3.2.3.2. Volumetrikus talajnedvesség-meghatározás	59
3.2.3.3. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározása	60
3.2.4. Az adatok feldolgozása, térképkészítés	61
3.2.5. A nagy mennyiségű adatbázisok geostatisztikai leválogatása	62
4. EREDMÉNYEK	65
4.1. Őszi búza fajta-összehasonlító N-fejtrágyázási tartamkísérlet eredményei	65
4.1.1. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2008)	65
4.1.2. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2009)	68
4.1.3. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2010)	71
4.1.4. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2011)	74
4.1.5. Különböző évjáratok hatásainak összehasonlítása	77

4.2. A talaj nedvességtartalmának és fajlagos elektromos vezetőképességének összehasonlító vizsgálata	79
4.2.1. A 2009. vizsgálati év eredményei	79
4.2.2. A 2011. vizsgálati év eredményei	81
4.2.3. A 2012. vizsgálati év eredményei	84
4.3. Új tudományos eredmények	87
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	89
5.1. A kisparcellás kísérlet tanulságai	89
5.2 A talajnedvesség vizsgálatának tanulságai	90
5.3. Gyakorlatban is alkalmazható eredmények	92
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	93
7. SUMMARY	99
8. MELLÉKLETEK.....	105
M.1. Irodalomjegyzék.....	105
M.2. Ábrák jegyzéke	119
M.3. Táblázatok jegyzéke.....	121
M.4. A kisparcellás kísérlet varianciaanalízisének és post hoc vizsgálatának eredményei	122
M.5. Fényképmelléklet.....	149
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	151

1. BEVEZETÉS

1.1. A téma aktualitása és jelentősége

Napjainkban az emberiség létszáma megközelítette a 7,4 milliárd főt. A Német Világnépésedési Alapítvány (DSW – Deutsche Stiftung Weltbevölkerung) adatai szerint csupán 2015-ben mintegy 83 millióval nőtt a népesség Földünkön. A növekvő népességszám pedig megkívánja az élelmiszertermelés hatásfokának, ezáltal volumenének növelését, valamint az előállított élelmiszer minőségének javítását is. A probléma megoldásának, mérséklésének egyik kiútja lehet a precíziós vagy helyspecifikus mezőgazdaság (precision farming, site-specific crop management), amely a termelés hatékonyságának növelését tűzte ki célul a környezetvédelem vonatkozásait szem előtt tartva, valamint az elérhető legfejlettebb technológiát alkalmazva.

A precíziós mezőgazdaság első lépése a mezőgazdasági termőhely minél részletesebb feltérképezése a termelési tényezők (talajtulajdonságok – pl. genetikai talajtérkép, domborzat, szervesanyag-tartalom, vízellátottság, tápanyag, kötöttség, talajellenállás stb.) vonatkozásában. A termőhely alapos ismerete minden mezőgazdasági beavatkozás elengedhetetlen feltétele. A növény termésének nagyságát a genetikai, az ökológiai és a termesztéstechnológiai tényezők együttes hatása befolyásolja, amely táblán belül is jelentősen variálódhat a mikro-termőhelyi viszonyok függvényében. A termőhely-specifikus precíziós növénytermesztési rendszer a termőhelyi viszonyok és a termés részletes, tábla-szintű felmérését (talaj- és növényvizsgálat, terméslemezés); valamint ezek eredményeinek korszerű térinformatikai módszerekkel történő kezelését (GIS – Geographic Information System/Földrajzi Információs Rendszer) kívánja meg a megfelelő agrotechnikai módszerek (talajművelés, vízháztartás szabályozás, növényi tápanyagellátás, növényvédelem) potenciális kidolgozása és adaptálása érdekében (Neményi *et al.*, 2002). Györffy (2000) megfogalmazásában a definíció úgy hangzik, hogy „a precíziós mezőgazdaság magába foglalja a termőhelyhez alkalmazkodó termesztést, táblán belül változó technológiát, integrált növényvédelmet, a csúcstechnológiát, távérzékelést, térinformatikát, geostatistikát, a növénytermesztés gépesítésének változását és az információs technológia vívmányainak behatolását a növénytermesztésbe. Jelenti továbbá a talajtérképek mellett a terméstérképek készítését és termésmodellezést, talajtérképek összevetését a terméstérképekkel, kártevők, gyomok, betegségek táblán belüli eloszlásának törvényszerűségeinek figyelembe vételét”.

A mezőgazdaságban használatos elektronikus rendszerek alkalmazásának kezdete az 1960-as évek közepétől számolható (Stone *et al.*, 2008). Az elmúlt 20 évben az informatika ugrásszerű fejlődése, valamint a fenntartható fejlődés által megkövetelt műszaki-informatikai háttér mindezt felgyorsította. A helyspecifikus gazdálkodás nagy mennyiségű helyhez kötött adat gyűjtését és elemzését igényli, amelyhez számos műszaki-elektromos berendezésre van szükség (Hummel *et al.*, 1996). A pontos méréseket lehetővé tevő, helymeghatározóval kiegészített eszközök, szenzorok fejlődése, fejlesztése napjainkban is tart, és valószínűleg a jövőben még intenzívebben fog előtérbe kerülni.

Talajaink minősége a szántóföldi táblán belül nem állandó. Táblán belül egyenletesen jó termés eléréséhez tudni kell, hogy annak egyes részein milyen mennyiségű műtrágyát kell kijuttatni, vetéskor milyen vetőmagmennyiséget szükséges használni a megfelelő állománysűrűség eléréséhez. A technológia alkalmazásával már az aratáskor jól nyomon követhető a táblán belüli terméshozam- és termésminőség-heterogenitás is. A helyspecifikus mezőgazdaság lényege tehát, hogy a táblán belüli eltérő adottságú területek a növénytermesztés folyamatában különböző kezeléseket igényelhetnek. A precíziós gazdálkodás alapja a részletes talajvizsgálat és – termőhelyi különbségek esetén – a későbbiekben arra alapozott eltérő kezelések (változtatott tőszámú vetés, helyspecifikus tápanyag-visszapótlás, stb.). A talajmintavétel és -analízis eredményeire támaszkodva az egyes tulajdonságok külön térképeken ábrázolhatók. A mezőgazdasági tábla részletes feltárását követően a precíziós mezőgazdaság következő lépése a termesztés során elért hozamok táblán belüli változásának követése. A betakarításkori folyamatos hozammérés lehetőséget biztosít hozamtérkép készítésére, amely a terület heterogenitásának függvényében szemléltetheti a térben változó terméseket. A rendelkezésre álló talaj- és hozamtérképek segítségével elkészíthető a terület tápanyag-kijuttatási térképe, amelyben a különböző adottságú területrészek eltérő mennyiségű, hatóanyagú, esetleg formájú tápanyagot kaphatnak. A több évből rendelkezésre álló hozamtérképek alapján jelölhetők ki a talajmintavétel területei, mivel a talaj tulajdonságainak táblán belüli változásainak a hozamingadozás a legjobb indikátora.

A modern globális helymeghatározó navigációs rendszerek (Navstar GPS=Global Positioning System), a mezőgazdasági gépek nagyfokú automatizálásának lehetősége, a géppark tartózkodási helyének pontos meghatározása, illetve a térinformatikai szoftverek (GIS) alkalmazása lehetővé teszi a talajok térbeli heterogenitását is figyelembe vevő agrotechnikai beavatkozások, azaz a precíziós mezőgazdaság kivitelezését. A térinformatikai szoftverek folyamatos fejlesztése, felhasználóbarát kezelőfelülete megkönnyíti az adatok térképszerű ábrázolását és a precíziós gazdálkodáshoz nélkülözhetetlen, ún. digitális adatbázisok felépítését. A precíziós technológia mezőgazdasági bevezetésével minden olyan agrotechnikai beavatkozás

területspecifikusan elvégezhető, ahol figyelembe kell, vagy lehet venni az agroökológia adottságok tér és időbeli változatosságából adódó eltérő igényeket.

A precíziós mezőgazdaságnak a termelés hatékonyságának növelése mellett nagy szerepe van a környezetvédelemben, annak egyre szigorodó elvárásai miatt is. A homogén mezőgazdasági táblarészek pontos meghatározása, valamint a hozamok területegységenkénti mérése alapján kivitelezett differenciált tápanyag-kijuttatás következtében a tápanyagok hasznosulása tökéletesebb, ezáltal a talaj mélyebb rétegeibe, talajvízbe mosódó trágyamennyiség csökken. Az egyes táblarészek pontos felvételezései, növényvizsgálatok alapján készíthető gyom-, betegség- és kártevőtérkép is, amelyek segítségével a fertőzött foltok eltérő növényvédő szer mennyiségekkel, esetleg típusokkal kezelhetők. A helyspecifikus tápanyag-kijuttatás és növényvédelem minden esetben a felhasznált kemikáliák mennyiségének csökkenését vonja maga után, ezáltal a környezetvédelem kívánalmait fokozottan szem előtt tartja, csökkenti a környezetterhelést.

A környezetvédelmi vonatkozásban nagy jelentőséggel bíró kemikália felhasználás csökkentése a termelés gazdaságosságának növekedését eredményezi. A precíziós gazdálkodás mindamelllett lehetőséget biztosít a táblán belüli heterogenitást figyelembe vevő okszerű talajhasználat, differenciált agrotechnika megvalósítására is, amely leginkább a vetés technológiájában alkalmazható. Nagy pontosságú helymeghatározással lehetőség nyílik a táblavégeken a forgók vetésénél az esetleges kihagyások vagy rávetések elkerülésére, ezáltal a felhasznált vetőmag mennyiségének csökkentésére, valamint a tőszám forgóban is megfelelő beállítására, és magasabb hozam elérésére. Kapás növények esetében lehetőség adódik a mezőgazdasági tábla eltérő talajadottságaihoz igazítva a vetés közbeni tőszámszabályozásra, ennek köszönhetően vetőmag megtakarításra, valamint a termés növelésére. A víz a növénytermesztésben a talaj mellett alapvető jelentőségű. Hatással van a növények tápanyag-felvételére, anyagforgalmára, a talaj biológiai aktivitására és a termés hozamra. A talaj nedvességtartalmának pontos meghatározása, térbeli eloszlásának térképezése a precíziós növénytermesztésben is fontos kritérium (Csiba, 2010). Ismeretében a talaj műveléséhez legmegfelelőbb időpont, a vetésidő, a termesztendő növény fajtája választható meg, ezen túl információta ad a precíziós öntözéshez is.

A különböző művelési irányzatok a gazdálkodási, növénytermesztési rendszerek változásait követve nem egyszer módosították, és napjainkban is módosítják a művelés feladatait. Erre jó példa a precíziós talajművelés, amellyel a növények számára megfelelő életteret alakítanak ki a lehető legkisebb szénvesztesség (CO_2), talajtaposás és szerkezetrombolás mellett, továbbá optimalizált hajtóanyag fogyasztás mellett, mivel csak a szükséges területeket művelik (Birkás et al., 2007). Másrésről a termőhely állapotához alkalmazkodó művelés az

eredményes növénytermesztés, és egyben a talajvédelem alapja. A védendő területeken a művelés idejének, irányának, mélységének gondos megválasztásával, a tarlómaradványok borítottságának kihasználásával csökkenthető a víz, és a szél pusztítása. A művelési beavatkozások ésszerű korlátozásával, kímélő műveléssel csökken a talajszerkezet károsodásának esélye (Nyíri, 1993).

A precíziós mezőgazdaság a XXI. század egyik forradalmi vívmánya, mivel a termesztéshez felhasznált anyagok (üzemanyag, vetőmag, műtrágya, növényvédő-szer) csökkentésével a hozamok maximalizálását kívánja elérni a gazdaságosság határain belül, a környezetvédelem perspektíváit fokozottan szem előtt tartva. A precíziós technológia tehát a növénytermesztés minden egyes lépésében (talajművelés, vetés, tápanyag-visszapótlás, növényvédelem, betakarítás) sikeresen alkalmazható, a kezdeti magas beruházási költségek után a megtérülést az input-anyagok csökkenése, valamint a környezetterhelés minimálisra történő szorítása biztosítja.

A precíziós gazdálkodás mellett napjainkban is fontos szerepet kapnak a kisparcellás fajta-összehasonlító, talajművelési, növényvédelmi és növénytáplálási tartamkísérletek. Ezek eredményeként termőhelyi viszonyokhoz illeszthető a fajtaválasztás, valamint a teljes termesztéstechnológia is. Ezek a szabadföldi kísérletek ritkán identifikálnak kapcsolatot a fizikai környezet és a termés között, így hely-specifikusak, az egyik helyen kapott eredmények ritkán alkalmazhatók más termőhelyei viszonyok között. Az agronómia eltérő területeinek – amelyek kutatják azokat a mechanizmusokat, melyek összekapcsolják a vizet, a talajt és a növényt – fontos funkciója a szántóföldi kísérleti eredmények kiterjesztése (Berzsenyi, 2009).

A szabadföldi kisparcellás kutatások szolgálnak alapul valamennyi növénytermesztési vizsgálathoz, mivel az így kapott eredményeket figyelembe véve lehet hasonló termőhelyen a sikeres és biztonságos termesztéstechnológiát megválasztani. Mivel a termőhelyek minden egyes esetben különböznek egymástól fontos, hogy minél több eltérő agroökológiájú területről legyen értékelhető eredmény, ami alapján a termesztéshez kapcsolódó döntéshozatal optimalizálható.

A kisparcellás kísérletek tehát a precíziós növénytermesztés megalapozásához is elengedhetetlenek, főként „hely-specifikus” voltukból adódóan. Egy heterogén termőhelynél a térben változó körülmények (talaj), az egyes menedzsment zónák eltérő kezeléseket igényelhetnek, így a helyes agrotechnikai beavatkozás megválasztásához a különböző termőhelyek kutatási eredményeinek ismerete elengedhetetlen.

1.2. Célkitűzések

Doktori disszertációm készítésekor két témakört vizsgáltam:

Az első kutatásban a Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézetének kispárcellás őszi búza fajta-összehasonlító N-trágyázási tartamkísérletében az egyes fajták kijuttatott különböző mennyiségű nitrogén tápanyagra gyakorolt terméseredményeit vizsgáltam négy év viszonylatában. Mivel a termőhely maximális terméspotenciáljának kihasználása a precíziós mezőgazdaság egyik alappillére, ehhez a növények különböző agroökológiai feltételek között produkált hozamának széles körű vizsgálatára van szükség. A kispárcellás tartamkísérletek eredményei jó képet adnak az egyes termőhelyekben rejlő lehetőségekről, az évjáratok hozamra gyakorolt hatásairól és az egyes fajtákban rejlő terméspotenciálról. A kispárcellás kutatások, tartamkísérletek így megalapozzák eredményeik helyspecifikus gazdálkodásba történő adaptációját.

Vizsgálataim második részében a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karának Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Intézetével (NymE-MÉK BRMI) közösen végzett kutatás eredményeit mutatom be, ahol is a magas mintavételi sűrűségű, helyspecifikus talajnedvesség-mérés megvalósítására tettünk kísérletet. A kutatásban a talajnedvesség mérésének két módját, valamint a talaj elektromos vezetőképességének mérését hasonlítottuk össze statisztikailag. Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, van-e összefüggés a talaj nedvességállapota és fajlagos elektromos vezetőképessége (EC_a) között? Amennyiben a talaj elektromos vezetőképessége alkalmas a talaj nedvességállapotának feltérképezésére, a talajnedvesség mérések gyorsabbá, egyszerűbbé, részletesebbé, költséghatékonyabbá és térben pontosabbá tehetők.

A kutatás célja:

1. Kispárcellás fajta-összehasonlító tartamkísérletek eredményei alapján a kijuttatott növekvő N-adagok őszi búza hozamára gyakorolt hatásának vizsgálata.
2. Osztott adagú N-trágyázás – az egy adagú fejtrágyához képest – termésmenvelő, termésbiztonság fokozó, évhatás mérséklő befolyásának kutatása.
3. Annak vizsgálata, hogy a magas dózisú N-fejtrágya minden esetben magasabb hozamot produkál-e – növelve a termésstabilitást – az alacsonyabb adagú egyszeri és megosztott mennyiségű trágyázással szemben.

4. A különböző évjáratok egyes fajták hozamára gyakorolt hatásainak összehasonlítása a kijuttatott N-adagok viszonylatában.
5. Javaslatok megfogalmazása az egyes évjáratokban elért fajtánkénti hozamok alapján a választható legnagyobb termésbiztonsággal termesztendő fajtákra.
6. Annak igazolása, hogy a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének mérése megfelelő számú és eloszlású adatot szolgáltat a precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósághoz.
7. A fajlagos elektromos vezetőképesség nagy felbontású detektálása alapján – heterogén talaj esetében – különböző „menedzsment zónák” kialakítása, ezeknek a későbbiekben egymástól elkülönített kezelése.
8. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének mérése olyan céllal, hogy közvetett módon alkalmazható-e a talaj nedvességi állapotának feltérképezésére és becslésére.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A fejezetben a precíziós mezőgazdaság fogalmát, alkalmazási területeit, a nitrogén trágyázás jelentőségét és típusait az őszi búza termesztésében, valamint a talajnedvesség növénytermesztésben betöltött jelentőségét és mérésének módszereit mutatom be.

2.1. A precíziós gazdálkodásról általánosságban

A precíziós mezőgazdaság az Információs Társadalomnak és a tömegessé váló Információs Technológiának (IT) a mezőgazdasági szakterületen történő leképeződése (*Tamás, 2001*). *Csete (2002)* megfogalmazásában a precíziós növénytermesztés az IT (Information Technology, információ technológia) mezőgazdasági gyakorlatban történő alkalmazását jelenti.

„A precíziós gazdálkodás a fenntartható mezőgazdasági fejlődéstől elválaszthatatlan termesztési rendszer, amely elektronikai és számítógépes technikát integrál a maximális gazdaságosság érdekében, miközben a környezeti és a természeti forrásoknak is maximális védelmét valósítja meg” (*Sági, 1996*).

Más megfogalmazásban a helyspecifikus gazdálkodás hatékonyabb és könnyebb munkavégzést tesz lehetővé; a felhasznált műtrágya-, vetőmag-, és vegyszermennyiség szabályozása (akár menet közben); a környezetterhelés csökkentése; üzemanyag- és víztakarékosság jelentik azokat az előnyöket, amiket a műholdas helymeghatározás mezőgazdaságban történő alkalmazása biztosít a gazdálkodók számára [URL¹].

A precíziós növénytermesztés célja a termőhelyi viszonyokhoz való minél pontosabb termesztéstechnológiai adaptáció. A növénytermesztő szempontjából a precíziós mezőgazdaság magában foglalja a termőhelyhez alkalmazkodó termesztést (növény faj és/vagy fajta helyes megválasztása), az táblán belül esetlegesen változó technológiát (talajművelés módja, iránya; vetéskori csíraszám; differenciált tápanyag-kijuttatás; stb.), az integrált növényvédelmet (foltkezelések; menet közben változó szermennyiség, esetleg szertípus), a talajtérképek mellett terméstérképek készítését és a termésmodellezést. Ezen felül a csúcstechnológiát alkalmazva távérzékelést, térinformatikát, geostatistikát, a növénytermesztés gépesítésének fejlesztését és az információs technológia vívmányainak bevezetését jelenti a növénytermesztés gyakorlatába. A definíciók közegek abban, hogy az alkalmazott technológiában az előzetes vizsgálatokra alapozott talajtérképek összehasonlítását a terméstérképekkel, betegségek, kártevők, gyomok

táblán belüli eloszlásának beazonosítását és pontos körülhatárolását végzik el (Győrffy, 2001; Jolánkai és Németh, 2002; Huzsvai et al., 2004; Nagy, 2002; Németh és Jolánkai, 2002; Jolánkai, 2004).

A precíziós növénytermesztés gondolata nem előzmény nélküli a magyar növénytermesztésben. A termelés ökológiai alapegységén, a mezőgazdasági termőterületen belüli heterogenitás tanulmányozása, az ahhoz való biológiai, termesztési és technológiai alkalmazkodás igénye csaknem évszázados múltra tekint vissza. A megoldás azonban napjainkig váratott magára, mivel az informatikai felkészültség, és a műszaki lehetőségek sem voltak elegendőek a növénytermesztési termőhely-specifikus problémák megoldásához (Berzsenyi, 2002; Jolánkai et al., 2002; Jolánkai M. et al., 2005; Jolánkai P. et al., 2005).

2.1.1. A termőhely-specifikus technológiák növénytermesztési területei

A növénytermesztés csaknem mindegyik termesztés-technológiai elemébe beilleszthető a precíziós mezőgazdaság elmélete, eszköztára és gyakorlata (Jolánkai és Németh, 2007):

- termőhely-kijelölés (táblahatárok és -részek, kezelési egységek, parcellák, fajta/hibrid sorok, stb.);
- talajművelés (az elővetemény; a talaj szerkezete, állapota, vízháztartása, mikrodomborzata, valamint művelhetősége szerint táblán belül is változtatható);
- tápanyagellátás (az adott terület rész tápanyagkészletének, tápanyagszolgáltató-képességének; valamint a növényzet aktuális fejlettségének, tápanyag-felvételi dinamikájának függvényében táblán belül is változtatható);
- vízellátás (a talajvíz raktározó-szolgáltató képessége összhangban a termesztett növény igényével, vízfelvételi dinamikájával, helyspecifikus öntözés);
- vetés (termőhely és növényfaj/fajta specifikus tőszám, sortáv, vetésmélység biztosítása; a forgók kimaradásainak és rávetéseinek csökkentése/kiküszöbölése);
- növényápolás (állapot-felvételezésen alapuló technológiai beavatkozások);
- növényvédelem (állati kártevők, gyomosodás, kórokozók pontos felvételezése; foltkezelések; menet közben változtatható szer mennyiség, esetleg szertípus);
- betakarítás (hozammérés; real-time beltartalom- és nedvesség-meghatározás; az érési viszonyokhoz, termés mennyiség és -minőség inhomogenitásához való alkalmazkodás).

Környezetvédelemi szempontból *Jolánkai és Németh szerint* (2007) két kiemelendő terület van, ahol a precíziós módszerek alkalmazása meghatározó:

- a precíziós technológiák révén bekövetkező állapotjavulás (környezetterhelés csökkenése – szermaradványok mennyiségének csökkenése, tápanyagok kimosódásának visszaszorítása);
- agroökológiai tényezők (edafikus tényezők, tábla, erózió, defláció, biodiverzitás stb.).

2.1.2. A precíziós gazdálkodásban alkalmazott technológiák

A helyspecifikus gazdálkodás kitűzött céljai megvalósítására 5 integrált technológiát alkalmaz (*Mikéné Hegedűs*, 2006):

- Térinformatika (GIS): Kiépített számítógépes hálózat és programrendszer az adatok összegyűjtésére, feldolgozására, tárolására, visszakeresésére, vizsgálatára és térbeli megjelenítésére.
- Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS): Műholdak által sugárzott jel segítségével speciális vevőkészülékek határozzák meg az éppen aktuális földrajzi helyzetüket, biztosítják a helyváltoztatás pontos nyomon követését. Az egyes mérések, felvételezések eredményeihez társítható a mintavétel pontos helye, így a pont későbbi visszakeresése – az adatellenőrzés, vagy az időbeli változások nyomon követése érdekében – könnyen kivitelezhető.
- Szenzorok: A mezőgazdasági gépekre szerelt érzékelő rendszerek, amelyek különböző céloknak alárendelve végeznek adatgyűjtést a talaj- és növényi tulajdonságokról, ami alapján a helyspecifikus beavatkozások megvalósíthatók.
- Távérzékelés: Tárgyak vagy jellemzők közvetlen kapcsolat nélküli észlelésére, illetve beazonosítására alkalmas érzékelők. (A tárgyak által visszavert elektromágneses hullámok detektálása.)
- Helyspecifikus beavatkozás: Mezőgazdasági gépekre szerelhető számítógép-vezérelt eszközök a szükséges műveletek irányítására, a meghatározott mikro-termőhely igényeinek megfelelő kezelések pontos térbeli kivitelezésére (talajművelés, vetés, tápanyag-visszapótlás, növényvédelem stb.).

A hagyományos növénytermesztés elvei szerint a mezőgazdasági tábla a legkisebb művelési egység, amit alapul vesznek az optimális agrotechnikai beavatkozások, kezelések

megállapításánál, kivitelezésénél. A GPS-szel történő helymeghatározás lehetővé tette a talaj-, a hozam- és a termésminőségi tulajdonságok táblán belüli (mikro-termőhely) helyzetének feltérképezését és rögzítését. Táblán belül figyelembe kell tehát venni a talaj mikrodomborzatát, termékenységet közvetlenül meghatározó eltérő fizikai és kémiai tulajdonságait, a gyomok, kártevők, betegségek (kártételek) táblán belül előforduló változékonyságát is (Várallyay, 2002a).

A precíziós technológia eddigi eredményei lehetőséget adnak a magyar mezőgazdaságnak is hatékonyabb, környezetkímélőbb, gazdaságosabb modern termelési módszer bevezetésére, egyúttal igazi megoldással szolgálva az ágazatot jellemző válság bizonyos tényezőinek leküzdésére. A modern, fejlett társadalmak legnagyobb része mezőgazdasági válsággal küzd. A gyakran csökkenő és ingadozó felvásárlási árak, az időszakos túltermelés, az időjárási szélsőségek növekedése, a bizonytalan haszon, a termőföld romlása, a szigorodó jogszabályi keretek, és a magas költségek mind olyan tényezők, melyek állandó problémák forrásai lehetnek. Az elmúlt évtizedekben számos próbálkozás irányult ezek ellensúlyozására – támogatási rendszerek, átszervezések, kutatások, termékváltások – azonban egyik sem volt képes hosszú távú megoldást nyújtani. Magyarországon a gyorsütemű téjesítés, majd a földek privatizációja, és helyenként ésszerűtlen túldarabolása, mind a mezőgazdaság nehézségeit növelte. Sokszor a tapasztalatok, a „gazdálkodási hagyomány”, a szaktudás és a megfelelő anyagi források hiánya jellemezte az új tulajdonosokat, ráadásul a rendszerváltással megjelenő piaci verseny szinte lehetetlenné tette, hogy modern, rentábilis, a környezeti erőforrásokkal körültekintően bánó versenyképes mezőgazdaság alakuljon ki az országban. Az integrált mezőgazdaság mellett megjelent az alternatív gazdálkodási módok széles skálája, ahol a középútas gazdálkodás, azaz a „mid-tech farming” is helyet követel magának. Ez a gazdálkodási mód magában foglalja a talajvédő-, a környezetbarát- és az anyag- és energiatakarékos növénytermesztést. Erre épül az utóbbi évtizedek alatt fokozatosan kialakuló és egyre modernebb eszközöket felvonultató „precision farming”, vagyis a precíziós növénytermesztés. Ez nem csupán újabb termesztési módszer, hanem olyan új szemléletre épülő komplex rendszer, amely integrálni képes a biológiai, műszaki, automatizálási, informatikai, gazdasági és környezetvédelmi tényezőket. A technológia ezáltal javítja az életminőséget (egészséges táplálék, termés, jobb munkakörülmények), valós megoldásokat teremt a környezetvédelem és a gazdasági fejlődés látszólagos ellentéteire (nagyobb termés „környezetbarát” módszerekkel) és végül, de nem utolsósorban jelentős agrárgazdasági fejlődés (technológiai hatékonyság, anyag- és energia megtakarítás) lehetőségét teremti meg [URL²].

A precíziós mezőgazdaság alapja a műholdas helymeghatározó eszközök alkalmazása, kiegészítve a technológia által megkívánt szenzorokkal. Ezzel a gyakorlattal lehetőség nyílik a

helyi igényekhez igazodó, elsősorban műtrágya, vetőmag, növényvédőszer és újabban az öntözővíz differenciált kijuttatására, a műveletek módjának táblán belüli változtatására. A műholdas helymeghatározó rendszer lehetővé teszi, hogy a táblán belül eltérő kezelést igénylő foltokat (mikro-termőhelyek, kezelési egységek, management zónák) különítsenek el, így az egyes táblarészekben a leghatékonyabb gazdálkodás valósítható meg. A termőhelyi adottságok térbeli heterogenitásának következményeit a különböző termesztéstechnológiai beavatkozások külön-külön, és egymás kombinatív hatása alapján csökkenthetik vagy felerősíthetik. Erre jelent megoldást a precíziós mezőgazdaság azzal, hogy térben és időben felméri, elemzi a változékonyságot, a kapott eredmények alapján pedig optimalizálni próbálja a fenti hatásokat [URL³].

A precíziós mezőgazdaságban alkalmazott technológiai elemek magyar szerzők által megjelentetett könyvrészletekben és könyvekben is szerepelnek, ilyenek pl. a helyspecifikus tápanyag-kijuttatás (*Csathó et al.*, 2007), vagy a kijuttatás gépeinek, gépesítésének bemutatása (*Csizmazia*, 2007).

A precíziós gazdálkodás tervezési feladatai, és a hozzá kapcsolódó megvalósítások igénylik a nagy pontosságot, amelyek a táblaméreték függvényében az 1:10.000 – 1:1.000 méretarányú térképeken ábrázolt formában jeleníthetők meg. Az egyes gazdaságok táblaméretei eltérő térbeli felbontású alapinformációkat kívánnak meg. Mivel a precíziós gazdálkodás a táblán belüli heterogenitásból indul ki, a területi eltérések által meghatározott mintázatokhoz köthető talajművelési, tápanyag-utánpótlási, növényvédelmi stb. feladatok optimális végrehajtása eltérő méretekben jelenhet meg. Tehát ez a technológia olyan új gazdálkodási stratégiát jelent a növénytermesztésben, amely lehetővé teszi a gazdálkodó számára a mikro-termőhelyek táblán belüli elkülönítését és következő lépésben az ezeknek megfelelő technológia megvalósítását, elsődlegesen a kemikáliák felhasználásában. A kezelendő terület nagysága függ a beavatkozás jellegétől, mivel esetenként akár a növényegyed szintjére is lecsökkenthető (*Jolánkai és Németh*, 2007).

A precíziós gazdálkodás általánosságban megköveteli a legalább deciméteres pontosságot, ráadásul valós időben, nem pedig az adatok utólagos feldolgozásával. A legfejlettebb műholdas navigációs rendszerek egyik fő felhasználója tehát a mezőgazdaság lesz a jövőben. A pontos valós idejű helymeghatározáshoz a navigációs műholdrendszereket kiegészítő berendezések szükségesek. Napjainkban fejlett műholdas navigációjának (cm-es pontosságú helymeghatározás) segítségével az elvetett sorok nagy pontossággal, minimális ráállási hibával követhetők. A gazdálkodásban ezáltal csökkenthető – az átfedésekből adódó – a feleslegesen elhasznált üzemanyag, elvetett vetőmag, műtrágya vagy herbicid mennyisége. Korábban

lehetetlen volt a vetési, sorközművelési feladatot (kisebb sortávolságra vetett állomány, pl. gabona vagy dupla gabona sortávolság esetén) műholdas helymeghatározással elvégezni, mivel a műveletek elfogadható kivitelezéséhez kevés volt a méteres pontosság. A jelenlegi fejlettségi szinten, a centiméteres pontosságú helymeghatározással az előbb említett feladatok elvégzése is lehetővé válik [URL⁴].

A GPS alapú automata kormányzással rendelkező mezőgazdasági gépek jelentősen csökkentik a vezetőre jutó terhelést, használatukkal nem lehetetlen a munkacsúcsok hosszának lerövidítése, elhúzódásának megakadályozása sem. Az automatizált mezőgazdasági gépek segítségével elvégezhető többek között a real-time hozam-, szemnedvesség- és minőségmérés, a táblán belüli differenciált tápanyagkijuttatás, a táblán belüli gyomviszonyokhoz igazodó, helyspecifikus gyomirtás is. A párhuzamos sorok követése, amely eddig nagyfokú szakmai hozzáértést, és hosszú ideig tartó koncentrációt igényelt, mostantól a robotpilóta feladatává válik, ezáltal a gépkezelő akár 10-12 órán keresztül is végezheti munkáját. A mezőgazdasági munkagépek pontos irányításához korábban évek tapasztalata, és gyakorlata volt szükséges, viszont az említett műholdas helymeghatározás alkalmazásával ez az idő lerövidül. A mezőgazdaságban dolgozó fiatalok tudása pedig azáltal bővül, hogy az alkalmazásba kerülő modern berendezések használatát el kell sajátítaniuk, valamint a gazdálkodásban „mesterfokon” kell tudni alkalmazniuk [URL⁵].

A talajok minősége táblán belül sem állandó. Egyenletesen jó termésátlag eléréséhez hasznos tudni, hogy táblán belül az egyes területeken mennyi műtrágyát kell kijuttatni, vetéskor milyen vetőmagmennyiséget használni a megfelelő állománysűrűség eléréséhez. A technológia alkalmazásával már az aratáskor jól nyomon követhető a táblán belüli terméshozam- és termésminőség-heterogenitás. Az adott tábla hozamtérképe a betakarítás során adott időpillanatokban mért hozamadatok, és a hozzájuk tartozó koordináták felhasználásával készül. A szükséges adatokat legalább méteres vagy méter alatti pontosságú GPS vevővel és hozammérő rendszerrel rendelkező betakarítógép folyamatosan méri, összegyűjti és tárolja. A nyers adatok feldolgozásával készített térképen (termésjellemzőnként egy-egy fedvény) már szemmel látható a mért termésparaméterek (hozam, fehérje-, olajtartalom, szemnedvesség, stb.) térbeli változékonysága. Az elkészült hozamtérkép segítségével jelölhetők ki a talajmintavételi pontok. A megvett talajminták vizsgálatát akkreditált laboratóriumokban végzik. A hozamtérkép és a talajvizsgálatok eredményei alapján tápanyag-utánpótlási térkép készíthető, és ennek segítségével – ha rendelkezés áll a megfelelő precíziós technológia – a differenciált tápanyag-kijuttatás megvalósítható, mivel a talaj tápanyag-szolgáltató képességének megismerése, megőrzése, lehetőségekhez mért fokozása alapvető cél [URL³].

A betakarításkori hozamtérképezés (Reitz, 1992; Demmel, 1997; Kalmár, 2000; Kalmár és Pecze, 2000; Neményi *et al.*, 2001) napjainkra szinte minden nagyobb gazdaságban elterjedt hazánkban, az erre és a talajvizsgálatokra alapozott helyspecifikus tápanyag-kijuttatást (Czinege *et al.*, 2000; Pecze *et al.*, 2001a; Pecze *et al.*, 2001b) pedig egyre több gazdálkodási rendszer alkalmazza.

A modern globális helymeghatározó navigációs rendszerek (GPS), a mezőgazdasági gépek nagyfokú automatizálásának lehetősége, a géppark tartózkodási helyének pontos meghatározása, illetve a térinformatikai szoftverek (GIS) alkalmazása lehetővé teszi a talajok térbeli heterogenitását is figyelembe vevő agrotechnikai beavatkozások, azaz a precíziós mezőgazdaság kivitelezését. A térinformatikai szoftverek folyamatos fejlesztése, felhasználóbarát kezelőfelülete megkönnyíti az adatok térképszerű ábrázolását és a precíziós gazdálkodáshoz nélkülözhetetlen, ún. digitális adatbázisok felépítését. A precíziós technológia mezőgazdasági bevezetésével minden olyan agrotechnikai beavatkozás terület-specifikusan elvégezhető, ahol figyelembe kell, vagy lehet venni az agroökológia adottságok tér és időbeli változatosságából adódó eltérő igényeket.

A hatékony precíziós gazdálkodáshoz nélkülözhetetlen az olyan térinformatikai rendszer, ami mezőgazdasági szempontokat és munkafolyamatokat vezérel, időt, energiát és pénzt takarítva meg felhasználóinak. Nélkülözhetetlen még a szabatos mérés és ahhoz kapcsolódóan a pontosan szabályozott beavatkozás. A precíziós termesztés irányítási rendszere a következő folyamatokra bontható: adatgyűjtés, adatfeldolgozás, döntéshozatal és beavatkozás. Ezek a folyamatok számos részfolyamatra oszthatók tovább, melyekben különös szerepet kap a mérés, a vezérlés, a szabályozás és a számítógépes felügyeleti irányítás [URL⁵].

A precíziós mezőgazdaság egyik leglényegesebb alapfeltétele napjainkban – a gazdaságosságot és az elkövetett visszaélések megakadályozását szem előtt tartva – a gépjárműpark másodpercre pontos nyomkövetése, vezérlése, irányítása. Amennyiben állandó a kapcsolat a gépekkel, minden pillanatban ismerik pontos helyüket, térképen kirajzolódik nyomvonaluk, látható az általuk elvégzett munkamennyiség. Ezekből az adatokból számításokat végezve ismerhető meg a teljes munka elvégzésének várható ideje, és ha szükséges átirányíthatók egy másik munkaterületre, ellenőrizhető a működőképességük, vagy akár az, hogy a rájuk kirótt feladatot teljesítik-e. A műholdas navigációt alkalmazva a szállítmányozás magas költségei is csökkenthetők, a logisztikai feladatok megkönnyíthetők, ütemezhetők. Használatával a szállításnál meghatározó paraméterek egy része optimalizálható a távolság, idő, és útvonal.

A precíziós mezőgazdaság fő céljai tehát a jelenlegi helyzetben a gazdaságosság és a hatékonyság növelése, a környezetvédelem és jobb minőségű termés elérése. A technológia

jövőbeni széles körű elterjedését indokolja a környezetvédelem, a minőségi termékek nagyfokú igénye, termőföldjeink védelme és nem utolsósorban a költségek csökkentése a hatékonyság növelése mellett. A technológia tehát stratégiai jelentőségű, mivel egyszerre veszi figyelembe a hatékonyságot, a gazdasági és környezetvédelmi szempontokkal együtt. Mivel a rendszer alkalmazásával a gazdálkodó egyszerűbben meg tud felelni az Európai Unió legfontosabb irányelveinek (nitrát, víz, tájvédelem, Natura 2000). Az Agrár-környezetgazdálkodási programban megfogalmazott „jó gazdálkodási gyakorlat”-ban előírtak megvalósításával elkerülhető az a helyzet, hogy az Európai Unió források minőségi kritika miatt ne kerüljenek a hazai termelőkhez [URL⁵].

Az ésszerű földhasználat és a helyes talajművelés – garantálva a talaj normális funkcióinak meglétét – a fenntartható mezőgazdasági fejlődés lényegi elemei, melyek különösen fontos szerepet töltenek be mind a nemzetgazdaságban, mind pedig a környezet védelmében (Várallyay, 2003).

2.2. Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nitrogén-trágyázásának jelentősége

A fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban felismerték, hogy a mezőgazdaság egyéb ágainak fejlődése a növénytermelés fejlettségének függvénye. A talaj termékenységének és tápanyag-ellátottságának kérdése tehát az egész mezőgazdaság jövője szempontjából meghatározó (Kádár, 1992).

A magyarországi gyakorlat az 1990-es évek kezdete óta nem a talaj termékenységének megőrzésére vagy annak esetleges növelésére irányul. A növénytaplálás tekintetében az elmúlt 30 évben előbb meredeken emelkedő, majd még meredekebben zuhanó NPK műtrágyahasználatának lehettünk tanúi hazánkban (Árendás et al., 2001). Pepó (2002) szerint a magyar növénytermesztésben katasztrofális változások történtek az elmúlt két évtizedben a növénytaplálás és tápanyag-visszapótlás mértékének jelentős lecsökkenése miatt.

A műtrágyázás az egyik alappillére volt a hagyományos mezőgazdasági rendszereknek is. Ebből fakad, hogy sok szerző tanulmányozta és publikálta a trágyázás hatásait a talaj termékenységének fenntartásában, esetlegesen növelésében. A tápanyag-kijuttatással kapcsolatos szántóföldi kísérletek célja a magas hozamok elérése vagy fenntartása, a bevételek maximalizálása érdekében. A publikált kutatásokból kiderül, hogy a nitrogén a leginkább korlátozó elem a növények növekedésében (Liebman és Davis, 2000).

A nitrogén az agro-ökoszisztémák egyik legaktívabb eleme (*Smil, 2002*), amely a növényi tápanyag-gazdálkodásban a növekedésért, valamint a terménymínőségért is felel (*Ladha et al., 2005*).

Az egyes szerzők nagyon eltérő műtrágyaadagokat és kijuttatási időpontokat javasolnak attól függően, hogy milyen talaj- és ökológiai viszonyok között történik a gazdálkodás. Kutatásaik publikálásakor a nitrogénműtrágyázás fontosságára hívja fel a figyelmet, valamint a kijuttatási idő helyes megválasztását javasolja *Koltay és Balla (1975)*, *Bocz és Győri (1985)* egyaránt.

Az eltérő N-dózisok különböző növényekre gyakorolt hatásait már sokan megállapították (*Balla Kovács et al., 2008; Vágó et al., 2008; Sipos et al., 2008*), és általában megegyeznek a közlemények a nitrogénnek a búza minőségére gyakorolt javító hatásáról (*Ragasits, 1998*) is, miközben a kijuttatott műtrágya mennyisége legtöbbször ennek a makroelemnek szab határt (*Neményi, 2008*).

Raun és Johnson (1999) kutatásaiból kiderül, hogy tápanyagellátás során kijuttatott N hatóanyag átlagosan csupán 33%-ban hasznosul. A fennmaradó rész a növény számára kedvezőtlen formájúvá alakulhat a talajban (denitrifikáció), ezenkívül ki- vagy lemosódhat.

Az őszi búza a legelterjedtebb és legrégebben termesztett kultúrnövény. Széleskörű elterjedése főleg nagyfokú ökológiai alkalmazkodóképességében rejlik. Termésének nagyságát és minőségét az egyes termőhelyek talajának típusa, az időjárás alakulása és a választott termesztési módszer határozza meg, vagy alakítja (*Antal, 2000*). Az őszi búza teszi ki az emberiség élelmezési alapjának jelentős hányadát. Magas gazdasági értékével egyike Magyarország legfontosabb gabonanövényeinek (*Klupács et al., 2007*).

Pepó (2009) szerint a búzatermesztésben a termés nagyságát és a különböző agronómiai tulajdonságokat az ökológiai (időjárás, talaj), a biológiai (genotípus) és az agrotechnikai (vetésváltás, tápanyagellátás, vízellátás, növényvédelem) tényezők együttesen határozzák meg.

Az optimális hozam elérését döntően a megfelelő tápanyagellátás befolyásolja, ezért napjaink gazdáinak sikerességét az alkalmazott műtrágyázási stratégia határozza meg (*Boman et al., 1995; Huggins és Pan, 1993; McConnell et al., 1993; Boquet és Breitenbeck, 2000*). Ilyen stratégiák lehetnek az őszi búza trágyázásában az osztott dózisú kijuttatás (*Lopez-Bellido et al., 2005*), a kijuttatás időzítésének változtatása (*Alcoz et al., 1993; Setatou és Simonis, 1996*), különböző műtrágya készítmények használata (*Malhi et al., 2007*), vagy nitrifikáció-gátlók alkalmazása (*Rochester et al., 1996; Malik és Reddy, 2001; Villar és Guillaumes, 2010*). Ezen stratégiák hatékonysága számos tényezőtől függ, mint például a talajparaméterek, helyi klímaadottságok, az elővetemény, valamint az alkalmazott agrotechnikai beavatkozások (*Clawson et al., 2006; Pettigrew és Adamczyk, 2006*). Ezek alapján az optimális kezelés

kiválasztásának alapjául a termőhelyi adottságoknak is megfelelő növényi tápanyagellátásnak kell szolgálnia, megcélózva ezzel a lokálisan elérhető maximális hozamot.

A helyes agrotechnika alkalmazásával érhető el a növény genetikai potenciáljában kódolt hozam, valamint a megfelelő terményminőség. Az okszerűen végzett agrotechnikai beavatkozásoknak (talajművelés, növénytáplálás, növényvédelem) figyelembe kell venni a vizsgált terület agroökológiai feltételeit (klíma, talajtípus, domborzat), valamint a termesztett növény igényeit is. Az agrotechnika tárgykörén belül kimagaslóan fontos a helyes növénytáplálás folyamata. Vagyis a növény tápanyag-felvételi dinamikájához igazodó trágya mennyiség kijuttatását, a trágyázás időpontjának a növény fenológiai fázisához való illesztését, valamint a megfelelő tápanyagforma kiválasztását kell szem előtt tartani.

A Debreceni Egyetem őszi búza kutatásai (*Pepó*, 2003) is alátámasztják, hogy a növény igényli a helyes növénytáplálást, melyre kedvező reakciókkal válaszol. A trágyázás hatására búza igen jól reagál, ezáltal jelentős terméstöbblet érhető el. Nemcsak a kijuttatott mennyiségre, hanem a trágya típusára, és a kijuttatás időpontjára is nagyon érzékeny. A kijuttatott tápanyagokra történő gyors és nagyfokú reakciójának köszönhetően kisparcellás tápanyag-visszapótlási kísérletekben az őszi búza a legkedveltebb gabonanövény. Másrészt hazánkban a második legnagyobb területen, több mint egymillió hektáron termesztett kalászos, amely ugyancsak a növénytáplálási kutatások középpontjába helyezi.

Jolánkai (1981) szerint az őszi búza a különböző fejlődési szakaszaiban eltérő mennyiségű nitrogént igényel. A nitrogén kijuttatása általában őszi alaptrágyaként és egy- vagy kétrészes tavaszi fejtrágyaként történik. A kisparcellás kísérletek igazolták, hogy a megosztott dóziszú fejtrágya a búza minőségére és hozamára is pozitív hatással bír.

A nitrogénnek jelentős szerepe van a búza fehérjének, az enzimeknek és a vitaminoknak a felépítésében, döntő szerepe van továbbá a búza minőségének kialakításában. A növényi nitrogénfelvétel a bokrosodási időszakban és szárbainduláskor a legintenzívebb (*Ragasits*, 1998).

Pepó (2002) Debreceni Egyetemen végzett kísérletei bizonyították, hogy az egyes búzafajták kijuttatott tápanyagokra adott reakciói, ezáltal azok tápanyag-hasznosító képessége között jelentős különbségek vannak. Az okszerű növénytáplálás eredményeként a hozamok növelhetők, javítható az őszi búza minősége, ezáltal a gazdaságosságot szem előtt tartva növelhető a bevétel.

Az őszi búza fehérjetartalma a termés egyik legfontosabb minőségi paramétere. A különböző fajtákra kijuttatott ugyanazon N-mennyiség is különböző fehérjetartalmakat eredményezhet. Nagyon fontos lenne a minőségi paramétereknek már az aratás közbeni

meghatározása (betakarításkori minőségvizsgálat, real-time fehérjemérés), így biztosítva már a szántóföldön az élelmiszer alapanyag minőség szerint történő betárolását (Milics *et al.*, 2006).

Berecz (1989) szerint a szemtermés fehérjetartalma és terméseredménye növekedésének köszönhetően mintegy másfélszeresére nőhet a területegységenként megtermelt fehérjemennyiség, mivel a különböző adagú nitrogénműtrágya nagymértékben befolyásolja a búza fehérjetartalmát és aminosav-összetételét.

Összességében tehát az őszi búza termesztésének sikerességét nagymértékben meghatározza a nitrogéntrágyázás. Az ökológiai környezethez és a választott fajta igényeihez igazodó növénytáplálás megfelelő nitrogén adagjának meghatározásához, kijuttatási idejének megválasztásához elengedhetetlenek a kisparcellás fajta-összehasonlító tartamkísérletek. Nagy információ tömeg áll rendelkezésre a témában, viszont a kutatások befolyásoló tényezőinek (klíma, termőhely, domborzat, fajta, agrotechnika) nagy száma miatt minden kutatás nagy jelentőséggel bír, mivel nincs két teljesen ugyanolyan termőhely.

A jövőben nagyon fontos lesz a nitrogén felhasználás optimalizálása a termesztett növény kedvező fejlődésének elérése, valamint a környezetszennyezés elkerülésének érdekében.

2.2.1. A növényi nitrogénigény meghatározása

A helyes nitrogéntrágyázás meghatározásához elengedhetetlen a talajban lévő nitrogén mennyiségének és formáinak ismerete. Ezek az adatokat talajvizsgálatok révén ismerhetők meg.

A Nmin módszer szerinti trágyázás azt jelenti, hogy a talaj felső rétegét (0-100 cm, 0-90 cm, 0-60 cm, ill. 0-30 cm) megmintázzák, és laboratóriumban a vizsgált mélység összes ásványi N tartalmát határozzák meg. A vizsgálat során kapott ásványi nitrogén mennyiségét hektárra vetítik, így megkapva az egységnyi mélységben megtalálható hektáronkénti összmenntiséget. A nitrogén összmenntisége alapján lehet eldönteni, hogy szükséges-e nitrogén-trágyázás, és ha igen, akkor milyen mennyiségben. Őszi búza esetében a végzett kutatások alapján Nyugat-Európában 150 kg ha⁻¹ értéket adnak meg a talaj 0-100 cm rétegére vonatkozóan. Amennyiben ezt az értéket a vizsgálati eredmény nem éri el, úgy a kijuttatott N mennyiségét úgy kell meghatározni, hogy a műtrágya és a talaj N-tartalma együttesen érje el az említett értéket. Fülek *et al.* (2002) ez a vizsgálati módszert úgy módosították, hogy a talajt 0-90 cm rétegben vizsgálták a tavaszi nitrogén fejtrágyázásnál. Árendás *et al.* (2001) a talaj 0-60 cm mélységében javasolják a talaj ásványi nitrogénkészletének meghatározását kora tavasszal, ami alapján a tavaszi fejtrágya mennyisége megállapítható.

Az összes ásványi N meghatározásán kívül nagyon jelentős eredményt adhat a talaj tápanyag-szolgáltató képességéről a különböző fejlődési stádiumokban elvégzett növényanalízis.

A környezetkímélő N-trágyázás figyelembe veszi a termőhelyi adottságokat, a termesztett növény tápanyagigényét, és tápanyag-felvételi dinamikáját, valamint szem előtt tartja a mindenkori gazdaságosság kritériumait is. A növekvő műtrágya árak mellett ma már szinte alig beszélhetünk „pazarló” trágyázásról, inkább a helytelen időben és a fenológiának nem megfelelő mennyiségben történő kijuttatás jelenti a fő veszélyforrást.

Vaughan et al. (1990) a nitrogénhiány megállapításában fontos eljárásnak a növényi részek és szövetek nitrogéntartalmának vizsgálatát tartják. A különböző fejlettségi állapotban növényállományból vett minták analízisével, azok nitrogéntartalmából következtetni lehet az esetleges tápanyaghiányra.

A föld feletti növényi részek nitrogén koncentrációjának és felhalmozásának meghatározása képet ad az őszi búza N-állapotáról. A vizsgálati eredmények alapján optimalizálni lehet a tápanyag-utánpótlás mennyiségi és időbeli mutatóit (*Mistele és Schmidhalter*, 2008; 2010).

A növény nitrogénigényének megfelelő kielégítésére jól bevált módszer a szezonálisan elvégzett növényvizsgálat, amely alapján a N-trágyázás „finomhangolása” történhet (*Scharf et al.*, 1993). Ugyanakkor a növény N-tartalma változhat a termőhely és az évek viszonylatában, de akár táblán belül is (*Scarf et al.*, 2005; *Schmidhalter et al.*, 2006; *Hong et al.*, 2007).

A növényi N-koncentráció és felvétel mértékének pontos és folyamatos nyomon követése fontos a N-kijuttatás optimalizálásához, az esetleges környezetszennyezés elkerüléséhez (*Stone et al.*, 1996; *Schmidhalter et al.*, 2008).

2.2.2. Alap műtrágyázás

A növénytáplálásban jól ismert tény, hogy nagy terméseket többnyire megosztott dózisú trágyakijuttatással lehet elérni. A modern, magas hozamra képes búzafajták fokozottan igényesek a tápanyag-ellátásra. Nagyobb termésátlagok és megfelelő minőség csak kiegyensúlyozott növénytáplálással érhető el. Őszi búza esetében alapvető az őszi alaptrágyázás, és egy vagy több adagban kijuttatott tavaszi fejtrágyázás.

A kijuttatandó N-műtrágya őszi mennyiségét úgy kell meghatározni, hogy az adott összetétel mellett a kijuttatott nitrogén mennyisége ne lépje túl a 40-50 kg ha⁻¹ adagot. Ez a N-dózis elősegíti a növények kezdeti fejlődését, és még nem veszélyezteti a biztonságos áttelelést. A nitrogén elsősorban a búza vegetatív tömegének kialakításában jelentős, főleg a bokrosodás, és a szárba indulás fázisában. A kalászkezdemény kialakulása már a bokrosodás alatt megindul, tehát már ebben az időszakban eldől a várható termés mennyisége. A kalászkezdemény fejlődéséhez szükséges tápanyagokról folyamatosan gondoskodni kell, mivel a bokrosodás

fázisában fellépő N-hiány később nehezen pótolható. Ősszel tehát javasolható az összes nitrogén 20-30%-ának, kb. 30-50 kg N-hatóanyagnak a kijuttatása, különösen, ha sok szármaradvány maradt a területen. A fennmaradó mennyiséget tavasszal, lehetőség szerint több alkalommal, megosztva célszerű kijuttatni [URL⁶].

Az alaptrágyaként kijuttatott N serkenti az erőteljesebb, mélyebbre hatoló gyökérnövekedést, amely csökkenti víz-stressz és a vízhiány hatását. Amennyiben az okszerű talajművelési rendszer következtében nem található a talajban semmiféle gátló tényező (tömör eke- vagy tárcsatalp), a növény mélyre hatoló gyökérzetet képes fejleszteni. A dús, megfelelő hosszúságú gyökérzet nagyban meghatározza a termesztés sikerességét a tenyészidőszak folyamán, mivel a víz és a különböző tápanyagok felvétele nem gátolt, a fejlődés folyamatos.

Az alaptrágyaként használt tápanyagokat általában a vetést közvetlenül megelőzően szokás kijuttatni, és a magágy-készítéssel a talajba dolgozni. A másik, napjainkban egyre népszerűbb lehetősége az alaptrágyázásnak a vetéssel egy menetben történő starter műtrágya kijuttatás. Ekkor a vetőgép műtrágyatartállyal, és megfelelő mechanikával van felszerelve, így a vetéssel egy menetben történhet a műtrágya talajba dolgozása.

Ősszel, különösen csapadékos időjárás esetén a csírázás és a kelés N-igényét a talaj természetes tápanyag-szolgáltató képessége nagyrészt képes fedezni. Az ekkor kijuttatott túlzott mennyiségű nitrogén a növények buja növekedéséhez vezet, amelynek rendszerint az állományok kifagyása, megritkulása a következménye.

2.2.3. A fejtrágyázás

Az őszi búza folyamatos fejlődéséhez elengedhetetlen az egy vagy több adagban kijuttatott tavaszi N-fejtrágya. A nitrogén leginkább a vegetatív szervek növekedését és fejlődését segíti, de alapvető befolyással van a generatív szervek fejlődésére is, mivel a kalászká differenciálódása a vegetatív időszakban felvett nitrogén függvénye. A búza N-igényének folyamatos kielégítése tehát megalapozza a nagy hozamot és a jó minőségű termést.

A nitrogén legnagyobb dózist, általában a szükséges mennyiség felét (30-60%) tavasszal kell kijuttatni. A szükséges ellátással a bokrosodás, és a kalászképződés, és alapvetően a termés mennyisége és a minősége is javítható.

Amennyiben megosztott fejtrágyázás a cél, az első kijuttatást a bokrosodás kezdetére kell időzíteni. A kalászos gabonák, így a búza nitrogéntáplálásának egyik legkritikusabb időszaka tél végén, és kora tavasszal van. Ekkor a növények asszimilációs tevékenysége már erőteljes, azonban az alacsony hőmérséklet, valamint a gyakorta anaerob viszonyok miatt a talaj természetes N-szolgáltató képessége sokszor még nem képes fedezni a szükségletet. A

bokrosodás kezdetén kijuttatott N-műtrágya növeli az állománysűrűséget, és az asszimiláló felületet, másfelől pedig előnyösen befolyásolja a kalászorsó hosszúságát. A kalász hosszúsága pedig a kalásonkénti szemszám, így a termés mennyiségének egyik alapvető meghatározója (Kalocsai *et al.*, 2004).

A szárbaindulás-, valamint a virágzás időszakában a felvehető nitrogénnek elsősorban a termés minőségi paramétereinek (sikértartalom, nyers fehérje tartalom, farinográfos értékszám, Zeleny-index) alakulásában van meghatározó szerepe. Ebben az időszakban dől el azonban az is, hogy a megtermékenyült virágok hányad részéből lesz termés, és mekkora lesz a szemek tömege. A növények számára rendelkezésre álló felvehető nitrogén pedig a többi tápelem felvételére is serkentőleg hat. Vigyázni kell viszont a nagyobb adagú nitrogén fejtrágyázással, mivel azzal egyes fajták szárszilárdsága kockáztatható, ezért a harmonikus összetételű lombtrágyázással célszerű korrigálni a tápanyagellátást.

Amennyiben több dózisban juttatják ki a tápanyagot, a második fejtrágyázás ideje a búza szárbaindulásának időpontjára tehető, a harmadik fejtrágyázás pedig a virágzás kezdetén indokolt. A virágzás kezdetére időzített kisebb adaggal - megfelelő körülmények esetén - a termés beltartalma jelentősen javítható. A két-három részletben ($20-40 \text{ kg ha}^{-1}$ kezelésenként) adott nitrogénnel nagyon jól lehet igazodni a búza tápanyagigényéhez, amely a termés növekedése mellett annak sütőipari paramétereiben is szignifikáns pozitív változásokat eredményez. A többszöri kijuttatás azonban többletköltséget jelent a gazdálkodó számára, melyet a várható árbevétel (felvásárlási ár függvénye) nem minden esetben képes kompenzálni. Számos esetben a harmadik fejtrágyázás nem is hozza a várt eredményt, mivel szárazságra hajló éghajlatunkon (kellő bemosó csapadék hiányában) a fejtrágya érvényesülése bizonytalan. A harmadik fejtrágyázás mikroelemekkel gazdagított UAN oldatos levéltrágyázással váltható ki az aktuális növényvédelmi munkákkal kapcsolatban. Az egyes kezelések pontos adagjainak meghatározásában a műtrágyázási terv keretszámai csak tájékoztató jellegűek. Intenzív gazdálkodás esetén feltétlen javasolható a szóban forgó fenológiai szakaszokban kiegészítő talaj- ($N_{\min}$), valamint növényvizsgálatok elvégzése is (Kalocsai *et al.*, 2004).

Kelés után, bokrosodáskor, szárbainduláskor, és kalászhányáskor idején végeztek N-fejtrágyázást 40 és 80 kg ha^{-1} hatóanyaggal (ammónium-nitrát műtrágyával), mintegy 17 fajtánál Pethes *et al.* (1994, 1997) Gödöllőn. A fejtrágyázás során a tápanyagot két vagy három alkalommal juttatták ki, meglehetősen sok variációban. Több fajtánál tapasztalták, hogy a bokrosodáskori, szárbaindulási és kalászhányáskori megosztás volt a legjobb hatással a szemtermésekre és a kalásztömeg alakulására.

A búzatermesztés fejlesztése során a hatékony N-műtrágyázási technológia kialakításával hazánkban is a legnagyobb termés és a legjobb beltartalmi és sütőipari minőség

elérésére törekedtek. A mennyiségi előrelépésen túl mindinkább előtérbe kerültek a minőségi szempontok. Ennek érdekében fontos a nitrogén-beépülés, transzformáció, műtrágyahasznosulás minél részletesebb, fajtánkénti ismerete (Kiss, 1985).

2.3. A talajnedvesség, mint meghatározó termésbefolyásoló tényező

A talajnedvesség a talajban jelen lévő, ott tárolt víz mennyiségét jelenti. Amennyiben a vízmennyiséget számokkal fejezik ki, úgy az lehetséges tömegre, de akár térfogatra vonatkoztatva is. A víz tömegének (m_w) a talaj szilárd fázisának tömegéhez (m_s) való aránya a tömeg nedvesség (W).

$$W = m_w / m_s$$

1. egyenlet

A térfogat nedvesség (θ) a víz térfogatának (V_w) a talaj térfogatához (V) való aránya.

$$\theta = V_w / V$$

2. egyenlet

A két egyenlet közötti összefüggés a következően fejezhető ki:

$$\theta = w \cdot \rho_d / \rho$$

3. egyenlet

ahol: ρ = a víz fajsúlya, ρ_d = a kiszáritott talaj fajsúlya, w = tömeg nedvesség, θ = térfogat nedvesség.

Számos tanulmány bizonyítja, hogy a termés nagysága nagyban függ az alkalmazott agrotechnikától, a termesztett növény igényeitől, a csapadék mennyiségétől, a talaj típusától, valamint annak vízraktározó képességétől (Boone, 1988; Lampurlanes *et al.*, 2002; Hemmat és Eskandari, 2004).

Öntözés nélküli technológiában a növények folyamatos növekedéséhez, és a magas hozamok eléréséhez elengedhetetlen a gyökérzóna kedvező nedvességtartalmának egyéb módszerekkel segített fenntartása (Chakraborty *et al.*, 2008).

Az elérhető nedvesség a termés fő limitáló tényezője, ezt pedig a csapadék mennyisége és eloszlása, valamint a talaj nedvességraktározó képessége határozza meg (Lawes *et al.*, 2009).

Kevés és egyenetlen eloszlású csapadék esetén a víz a növénytermesztés sikerének a kulcsa. Egyes időszakokban a felvehető víz mennyisége korlátozottá válhat a növény számára, s a tenyésztő ezen részében vízhiány stressz alakul ki (Kang *et al.*, 2003).

Termesztett növényeink tenyészideje nem mindig esik egybe a csapadékos időszakokkal, ezért a termés nagysága szorosan összefügg a talajnedvességgént tárolt csapadék

mennyiségével. Tehát a talaj, mint egyfajta „vízraktár”, csökkenti az csapadékeloszlás egyenetlenségéből fakadó káros következményeket (Su *et al.*, 2007).

A kedvezőtlen időjárási hatások, elsősorban a vízhiány csökkentésében tehát fontos szerepet tölt be a talaj vízgazdálkodása, a talajban tárolt vízkészlet (Shen *et al.*, 1999; Domitruk *et al.*, 2000; Várallyay, 2004; 2007; 2008).

Štekauerová *et al.* (2006), Nagy *et al.* (2007) és Šútor *et al.* (2009) is átfogóan tanulmányozták a mezőgazdasági területek talajának vízkészletét.

A talaj vízgazdálkodása a talajban lévő víz mennyisége, állapota, formája és mozgása, s e tényezők idő- és térbeli változása. Összetevődik a talaj víznyeléséből, vízáteresztő, víztartó képességéből és a száradás feltételeiből (Birkás, 2010).

Stefanovits (1975) szerint a talaj vízgazdálkodása a talaj termékenységének alapvető feltétele, mivel meghatározza annak levegő-, hő- és tápanyag-gazdálkodását, biológiai tevékenységét, művelhetőségét.

A csapadék- és öntözővíz, a felszíni hozzáfolyás, a talajvízből történő és a felszín alatti hozzászívargás növeli, az evapotranszspiráció, a felszíni elfolyás és a felszín alatti elszívargás csökkenti a talaj vízkészletét. A talaj nedvességtartalmát befolyásoló hidrológiai tényezők esetében periodicitás mutatható ki. Mind vízellátási zavarok és aszálykárak, mind káros víztöbbletből eredő növénykárosodás előfordulhatnak (Nyiri, 1993).

Az őszi búza termesztésének egyik legfontosabb korlátozója a rendelkezésre álló, felvehető víz mennyisége. A növényi gyökérzet vízfelvételi dinamikájának ismerete feltétlenül szükséges a helyes mezőgazdasági vízgazdálkodáshoz. Sok kutatás támasztja alá a növényi gyökérfejlődés és a talajnedvesség szoros kapcsolatát (Li *et al.*, 2010).

Ucan *et al.* (2007) szerint a jövőben a vízhiány jelentheti a búzatermesztés legfontosabb korlátozó tényezőjét a világon. Alapvető fontosságú, hogy a körülményekhez alkalmazkodó öntözési rendszerrel legyen biztosítva a növény számára a termést korlátozó vízellátás, optimális hozamot megcélózva.

Napjaink mezőgazdaságában a leginkább korlátozó tényezőt az időszakosan jelentkező vízhiány jelenti. Éppen ezért sok mezőgazdasági kutatás foglalkozik a témával. Ezekben a vizsgálatokban főként a vízfelhasználás hatásfokának növelését tűzték ki célul. A vízfelhasználás hatásfokának növelése érdekében főként az öntözést, a mulcshagyó vagy nedvességmegőrző talajművelést, vagy éppen jobb vízfelhasználású fajták termesztését tanulmányozták (Zhang *et al.*, 2005; 2010; Fang *et al.*, 2010).

A talaj vízkészletének, mint a hozamot befolyásoló önálló tényezőnek, pontos kimutatása a hozamoknak rendkívül sok tényezőtől való befolyásoltsága miatt nehéz (Késmárki *et al.*, 1993; Palkovits és Schummel, 1992).

A talaj gyökérzónájának nedvességtartalma meghatározó a növényi fejlődés, ezáltal a termés nagysága szempontjából. Az őszi búza termésének nagyságát számos tényező befolyásolja, úgy mint a hőmérséklet kölcsönhatásai az egyéb termesztési feltételekkel, például a rendelkezésre álló víz és nitrogén mennyiségével (*Trnka*, 2012).

Jól ismert tény a búzatermesztésben, hogy a talaj hőmérséklete kulcsszerepet játszik a gyökér megfelelő növekedésében, ezáltal a víz, és nitrogén felvételében (*Weldearegay et al.*, 2012).

A vízfelhasználás hatásfoka a növény igényeivel harmonizáló trágyázással, valamint a talaj vízháztartásának szabályozásával növelhető. Már széles körben számoltak be arról, hogy a mérsékelt vízhiány pozitív hatást gyakorol a termesztett növények vízhasznosítására (*Qiu et al.*, 2008; *Zhang et al.*, 2005, 2008). Számos eredmény igazolta, hogy az kiegyensúlyozott N-ellátás javítja a növény nedvesség hasznosítását, ezáltal a termelékenységet (*Lajtha és Whitford*, 1989; *Shangguan et al.*, 2000).

Zhang et al. (2008) őszi búza kísérleteikben a talaj felső 20 cm-es rétegét vizsgálták terepi TDR műszerrel. Öntözési kísérletben vizsgálták az őszi búza vízfelhasználásának hatékonyságát, a szermtermés nagyságát, valamint a szárazanyag-termelés intenzitását a kijuttatott öntözővíz függvényében. Kutatásukban a öntözés vízfelhasználási hatékonyságának növelését célozták meg.

A precíziós mezőgazdaságban a talaj paramétereinek, mint a termést befolyásoló tényezőinek, köztük a talajnedvesség „helyettesítő meghatározásának” lehetőségeként már *Tao* (1998) is az elektromos vezetőképességet használta. A precíziós gazdálkodás magas termésszintjeinek fenntartásához elkerülhetetlen a talajnedvesség eloszlásának pontos ismerete, feltérképezése.

Az elektromos vezetőképesség és a talajművelés – talajtulajdonságok összefüggéseit hazai kutatók is vizsgálták, és arra jutottak, hogy a talaj elektromos vezetőképessége és a talajnedvesség között szoros a kapcsolat (*Rádics et al.*, 2006; 2008).

A precíziós mezőgazdaság valamint a természeti erőforrásokkal való gazdálkodás jövője a technológiai fejlesztések megbízhatóságán, kivitelezhetőségén, és érthetőségén múlik (*Corwin és Lesch*, 2003; *Hartsock et al.*, 2000; *Kravchenko és Bullock*, 2000; *Milne*, 1991; *Williams és Hoey*, 1987).

A globális klímaváltozás következménye az átlaghőmérsékletek lassú, de folyamatos emelkedése. Ennek hatása a mezőgazdasági termelésre napjainkban még nem nagyfokú. Annál nagyobb problémát jelentenek az egyre gyakoribbá váló szélsőséges évszázatok (aszály vagy túlzottan csapadékos időjárás, jégeső stb.). A klímaváltozás hatása a rendelkezésre álló, hasznosítható víz mennyiségében válik a termesztés korlátozó tényezőjévé. Nagyon fontos tehát,

hogy a fajtaválasztással (aszálytűrő, kedvezőbb vízhasznosítású fajták/hibridek), az alkalmazott agrotechnikai eljárásokkal (nedvességmegőrző talajművelés, mulcshagyás) alkalmazkodjunk a változó klimatikus scenáriókhoz. A növénytermesztésben közismert, hogy a termesztés sikerének eléréséhez az első lépés a rendelkezésre álló agroökológiai feltételekhez (talaj, klíma, domborzat) illeszkedő faj- és fajtaválasztás. A termőhely adottságaihoz választott kultúrának kiegyensúlyozott fejlődését az okszerűen végzett agrotechnikai eljárások kiválasztásával és alkalmazásával támogathatjuk. Nagyon fontos lesz már a közel jövőben is nagy gondot fordítani a talaj vízháztartásának kedvező irányú befolyásolására. Az agrotechnikával a talaj nedvességbefogadó-képességének növekedése, valamint nedvességmegőrző-képességének javulása segíthető elő. A helyes talajművelés alkalmazásával a talajban tárolt nedvesség a termesztett növény számára könnyen elérhető, mivel ekkor semmi fizikai korlát nem állja útját a gyökérfejlődésnek.

A talajvíz állapota a legtöbb hidrológiai vizsgálat legfontosabb tényezője, akár a mezőgazdasági tábla, akár az egész vízgyűjtő vonatkozásában (*Calamita et al.*, 2012; *Minet et al.*, 2012). Az egész vegetációs periódus alatti térbeli és időbeli talajvíz eloszlás kiemelten fontos termést befolyásoló tényező (*Wijewardana és Galagedara*, 2010).

A táblán belül fellelhető és a növény számára felvehető források (víz és tápanyagok) eloszlásának pontos ismerete fontos a növényi fejlődés segítése, valamint az optimális hozam elérése érdekében. A talajban található víz térbeli és időbeli eloszlásának ismerete hozzájárul a táblaszintű nedvesség-megőrzés, valamint a hatékonyabb vízfelhasználás megvalósításához (*Fereres és Soriano*, 2007; *Hsiao et al.*, 2007). Az egyes növények vízigénye táblán belül is eltérhet, amennyiben a talajtulajdonságok is változnak (szerkezet vagy vízraktározó-képesség).

A talajnedvesség táblaszintű térképezésére alapozva *Hezarjaribi és Sourell* (2007) kutatásukban elkülönített öntözési zónákat jelöltek ki. A Veris 3100 talaj fajlagos elektromos vezetőképességét detektáló műszer segítségével feltérképezték a talaj nedvességi állapotának – ezáltal nedvességbefogadó- ill. tároló képességének – a vizsgált területen belüli variabilitását, ami alapján különböző öntözési, kezelési zónákat különítettek el.

A talajnedvesség táblán belüli meghatározása, és nyomon követése hagyományos módszerekkel rendszerint rendkívül időigényes feladat, a reprezentativitást célzó nagyszámú mintavételi pont miatt. A víztartalom meghatározása történhet talajminta-vétellel, radioaktív sugárzással, valamint elektromágneses módszerekkel (*Cook et al.*, 1992; *Dalton*, 1992). A talajnedvesség-mérésének abszolút pontossága megköveteli nedvességmérő érzékelőjének talajspecifikus kalibrálását (*Leib et al.*, 2003).

Mindezek a talajnedvesség-mérés tervezését rendkívül bonyolulttá teszik. Ezért a talajnedvesség meghatározásának meglehetősen pontos, gyors, és olcsó módszere a valós idejű

folyamatos (real-time) mérés, amely kellően nagyszámú mintát szolgáltat a precíziós mezőgazdaság számára szükséges hely-specifikus térképek elkészítéséhez (Akbar *et al.*, 2005).

Az elektromágneses indukció (EMI) mérési módszerét alkalmazó látszólagos elektromos vezetőképesség (EC_a) kevesebb figyelmet kapott a talajnedvesség állapotának felmérésében annak ellenére, hogy a hagyományos talaj felmérésekre lett kifejlesztve, mint például a talajnedvesség és a textúra térbeli változásának nyomon követése (King és Dampney, 2000). Az talaj elektromos vezetőképességének mérését számos kulcsfontosságúnak számító talajtulajdonság befolyásolja, mint például a sótartalom (oldható sótartalom), agyagtartalom és agyagásványok, a talajnedvesség és a hőmérséklet (Friedman, 2005; McNeill, 1980).

A jövőben tehát a talaj vízháztartásának pontos megismerése kerül előtérbe, a víztartalom időszakos felmérésével. A vízgazdálkodás részletes megismerése szolgál alapjául a vízháztartás-szabályozás megvalósításának. A talaj víztartalmának mérésével a talajban tárolt víz mennyisége, és eloszlása válik láthatóvá a mezőgazdasági táblán belül. Bármilyen talajparaméter méréséről legyen szó, a felvételezés történhet meghatározott számú pontban, vagy folyamatosan. A talaj víztartalmának mérésére napjainkra számos módszer, és más-más elven működő mérőműszer áll rendelkezésre. Várallyay (2002b) szerint jelenleg nincs olyan eljárás, amellyel a teljes nedvességtartományban, zavaró tényezők nélkül, egyszerűen, gyorsan, megbízhatóan és pontosan meghatározható, folyamatos módon regisztrálható lenne a talaj nedvességtartalma.

2.3.1. A talajnedvesség meghatározásának csoportosítása

A talajnedvesség meghatározásának módszerei a vizsgálat helyét illetően két nagy csoportba oszthatók. Az egyik ilyen nagy csoport a laboratóriumi mérések csoportja, amikor is a termőhely talajából mintát vesznek, és azt laboratóriumi körülmények között vizsgálják tovább. A másik csoport, amikor a talajnedvességet helyszíni mérőműszerek segítségével határozzák meg. Ennek a típusnak az az előnye az előbbivel szemben, hogy már a szántóföldön ismertté válnak a mért adatok, így a helyszínen megtudható a vizsgált tábla talajának víztartalma. Aszerint is különbség tehető az egyes méréstípusok között, hogy a vizsgálat során bolygatatlan, vagy bolygatott talajmintával dolgoznak. Ugyancsak nagy csoportosítási alapja a vizsgálatoknak, hogy közvetlenül a talajban található víz mennyiségét határozzák meg, vagy valamilyen talajfizikai paramétert mérnek, ami szoros összefüggésben van a nedvességtartalommal. Ilyen faktorok például az elektromos ellenállás, elektromos kapacitás, a sugárzás elnyelése, a gyors részecskék lassulása, és az elektromágneses hullámváros terjedési sebessége.

Minden pontszerű mérés megegyezik abban, hogy viszonylag lassú, munka-és időigényes, valamint nem szolgáltat elegendő mennyiségű adatot a teljes vizsgált terület

reprezentatív bemutatásához. Erre a problémára jelenthet egyfajta megoldást a közvetett, folyamatos mérési módszerek alkalmazása, amely nagyszámú mintavételi pontjaival lehetővé teszi a terület teljes feltérképezését. A magas mintaszám már alkalmassá teszi a módszert a precíziós mezőgazdaságban történő felhasználásra.

A fejezetben csak a legfontosabb, és napjainkban legelterjedtebb talajnedvesség-mérési módszerek kerülnek említésre. A talaj nedvességtartalmának vizsgálatakor a víztartalmat többféle mértékegységben lehet megadni:

- *Grammban:* a nedves és a száraz talaj tömegének különbsége.
- *Tömegszázalékban:* a talajban lévő víztömegnek a talaj száraz tömegéhez viszonyított %-os mennyisége. A külföldi (angol nyelvű) irodalmak leggyakrabban a GSM vagy GVC (Gravimetric Soil Moisture, ill. Gravimetric Water Content) rövidítés használják.
- *Térfogatszázalékban:* Az egységnyi talajtérfogatban lévő víztérfogat %-os mennyisége. A külföldi (angol nyelvű) irodalmak a VSM vagy VWC (Volumetric Soil Moisture, ill. Volumetric Water Content) rövidítéseket használják. Fontos megemlíteni, hogy a két egység egymásba átszámításához szükséges a talaj térfogattömegének (ρ_{bulk}) ismerete is.
- *Milliméterben:* Egy adott rétegvastagságú talajnál a 4. egyenlet segítségével.

$$W = \frac{\theta_v \cdot h}{10} \text{ [mm]} \quad \text{4. egyenlet}$$

ahol:

W – a talaj vízkészlete [mm];

h – a vizsgált talajréteg vastagsága [cm];

θ_v – a nedvességtartalom térfogat százalékban [%].

Egy hektárra vonatkoztatva a mezőgazdasági gyakorlatban a leggyakrabban ezt az értéket $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ egység vízmennyiségben adják meg. 1 mm vízborítás 1 ha-on = 10 000 liter = 10 m^3 .

2.3.1.1. Gravimetrikus talajnedvesség-meghatározás

A módszer mérlegelési elven működik, mivel a minta nedvességtartalmát bolygatatlanul vett talajminta szárításával határozzák meg. Szárítószekrényes eljárásnak is nevezik, mivel a nedves talajmintákból kb. 50-100 g mennyiségű részt leválasztanak, lemérik a tömegét (nedves tömeg), majd szárítószekrényben (1. ábra) 100°C -on, tömegállandóságig szárítják (Stefanovits, 1992). Nagy (2004) szerint a mérés során Kopecki-féle hengerekbe vett 100 cm^3 űrtartalmú bolygatatlan mintákat használnak, amelyeket szárítószekrényben 105°C -on kiszáritanak

körülbelül 24+6 óráig (Ha meg akarják gyorsítani, akkor vákuumos szárítószekrényt használnak).

A módszer nagy előnye, hogy a teljes nedvességtartományban jól használható, a minta sótartalmára, és hőmérsékletére nem érzékeny, valamint máig a legpontosabb nedvességmeghatározást szolgáltatja. Ezen okból kifolyólag az egyéb mérési módszerek kalibrációjának, a mérési pontosság javításának alapja. Hátrányai közé tartozik, hogy mintavétellel jár (hibás mintázás esetén nem megismételhető), a módszerek közül a leginkább időigényes, folyamatos nyomon követésre (monitoring) nem alkalmas, valamint az eredmények csak laborvizsgálatot követően állnak rendelkezésünkre (Várallyay, 2002b).



1. ábra Szárítószekrény

2.3.1.2. A talaj elektromos ellenállásának mérése

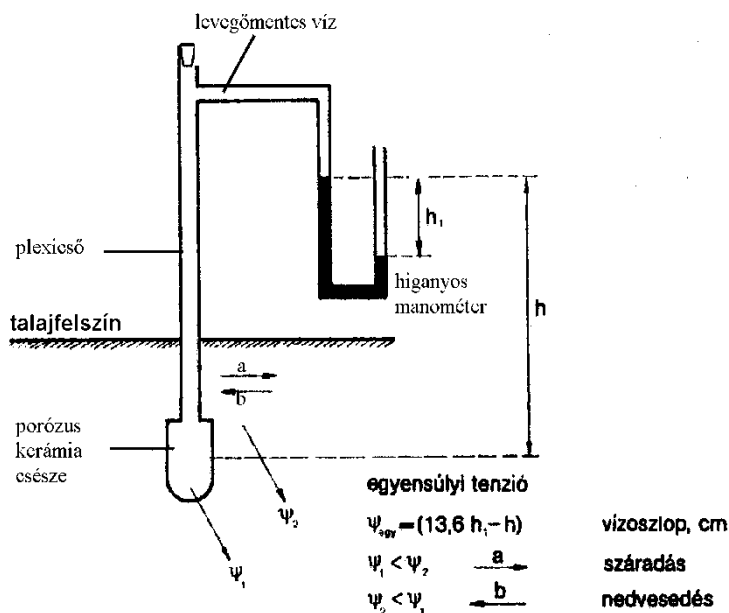
A talajok elektromos vezetőképessége általános jellemző tulajdonság, ebből adódóan mérése felhasználható a talajnedvesség közvetett meghatározására (Adamchuk et al., 2004).

A mérés során a talajba gipsz-, nejlon- vagy üvegrost „blokkba” ágyazott fémhuzal párt helyeznek el, és miután átvette a talaj nedvességpotenciálját mérik az elektromos vezetőképességét. A kapott elektromos vezetőképesség értékének nagysága összefügg a talajban található, elektromos áram vezetésére alkalmas ionok számával. Az elektromos vezetőképesség a talaj nedvességtartalmával arányos. A módszer nagy hátránya, hogy magas oldott sótartalom

esetén nem a talaj víztartalmát adja meg, hanem a vízdoldható sók nagyságát, mivel ebben az esetben az ionok nagy részének forrása az oldott sótartalomból ered.

2.3.1.3. Tenziométeres talajnedvesség-mérés

A tenziométer (2. ábra) vízzel töltött és közvetlenül manométerrel összekötött porózus kerámiacsésze, amely a víz által átjárható, de a levegő számára nem. Mérés közben az előzőleg kiforralt desztillált vízzel buborékmentesen feltöltött tenziométer kerámiacsészéjét a talajba kell elhelyezni. A talaj szilárd fázisának szívóereje hatására a csészén keresztül víz szívárog a talajba. Mivel a tenziométer levegő számára zárt belső terébe kívülről nem juthat be levegő, a kiszivárgott víz miatt a belső térben vákuum keletkezik, amelynek mértékét a manométer méri.

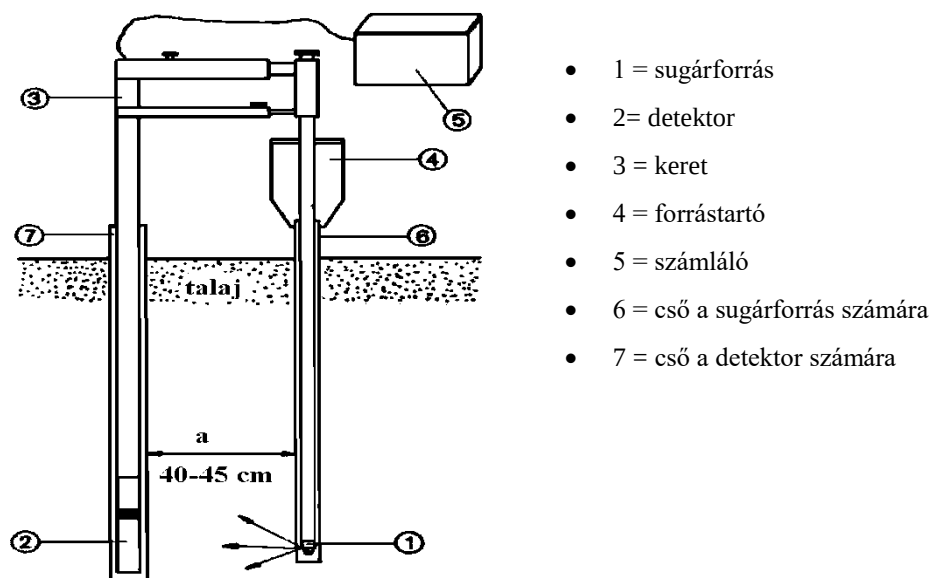


2. ábra A tenziométer elvi vázlata (Forrás: Várallyay, 2002b)

A tenziométer tulajdonképpen a talajnedvesség „szívóerejét” kifejező, úgynevezett „mátrixpotenciált” méri, 0-100 kPa nyomásig. A manométeren leolvasott vákuum vízoszlop-cm-re számítható át, s ennek alapján az adott talajra jellemző pF-görbéről közvetlenül leolvasható a mért tenziónak megfelelő nedvességtartalom. Ahogyan a növények gyökerei vizet vonnak el a talajból, a talajnedvesség tenzió növekedni fog, a talaj fokozatos kiszáradásával egyenes arányban. A módszer világszerte elterjedt a talaj nedvességforgalmának regisztrálására. A mobil tenziométerrel relatíve gyors mérés végezhető (Várallyay, 2002b).

2.3.1.4. A γ -sugár gyengítésével történő mérési módszer

A módszer alapja, hogy a 2–30 atomszámú elemek tömegabszorpciós koefficiense azonos radiációs energia alkalmazása esetén megegyező. A sugárforrásból (25 mC ^{137}Cs vagy 1 mC ^{60}Cs) kilépő γ -sugarak egy része a talajban elnyelődik. Az ily módon gyengült γ -sugárzást regisztrálja a sugárforrással párhuzamos csőben, attól 40–45 cm-es távolságban elhelyezett detektor (3. ábra). A γ -sugár gyengülésének mértékét a két cső közötti távolság, a talaj térfogattömege és a talaj nedvességtartalma befolyásolja.



3. ábra A γ -sugár-gyengítési talajnedvességtartalom-meghatározás elvi vázlata (Forrás: Várallyay, 2002b)

Az első vagy első két említett tényező stabilizálásával a talaj nedvességtartalma regisztrálható. A γ -radiációs módszerek a sugárfertőzés fokozott veszélye miatt kevésbé terjedtek el a helyszíni nedvesség meghatározás gyakorlatában. A sugárbiztonsági előírások szinte teljesen kizárták a talajvizsgálatok gyakorlatából (Várallyay, 2002b).

2.3.1.5. A talajnedvesség meghatározása neutronszóródásos módszerrel

Ennél a mérési módszernél a talajba fúrt lyukba speciális csőben elhelyezett neutronforrást (5 mC Ra-Be, 30 mC Am-Be, vagy Po-Be) eresztenek le (4. ábra). Ebből gyors neutronok lépnek ki, s a talajban előforduló hidrogénatommagokkal ütközve elvesztik energiájukat. A szóródott lassú neutronok egy BF 3 gázzal töltött csőben abszorbeálódnak. A gáz ionizációja révén létrehozott impulzusokat egy „preamplifier” felerősíti, majd egy „scaler” regisztrálja, számlálja. A hidrogén atommagok elsősorban a vízből származnak, a regisztrált neutronok száma megközelítőleg lineárisan arányos a talaj térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalmával. Ez a módszer a neutronforrás körüli képzeletbeli gömb talajtömegének

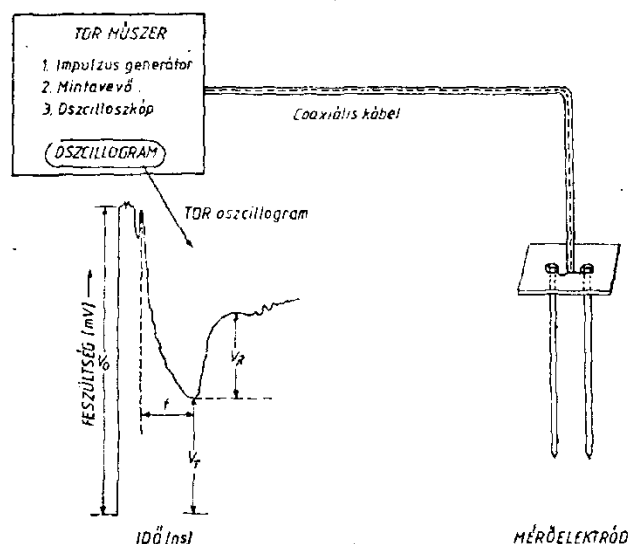
átlagos nedvességtartalmát regisztrálja. A hatvanas-hetvenes években világszerte alkalmazott módszer volt, azonban a sugárvédelmi előírások elmulasztása miatt bekövetkező egészségügyi ártalmak a visszaszorították alkalmazását. Néhány ország és az EU szabványa alkalmazását egyenesen tiltja (*Várallyay*, 2002b).



4. ábra Talajnedvesség-meghatározás neutronszerével (Forrás: Csiba, 2010)

2.3.1.6. Hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszer

A mérés elve a TDR (Time Domain Reflectometry) – a rádiófrekvenciás elektromágneses hullám terjedési sebességének meghatározásán alapszik. A módszer esetleges talajnedvesség mérésére történő felhasználását már az 1960-as években felvetették (*Fellner-Feldegg*, 1969), majd később megvalósíthatóságát többen (*Topp et al.*, 1980; *Topp és Davis*, 1985) is vizsgálták. Ezen mérési csoporton belül a talajnedvesség és elektromos vezetőképesség vizsgálatára a TDR-módszer terjedt el leginkább (**5. ábra**). A lényeg, hogy precíziós elektronikus berendezéssel meghatározható, hogy ismert keresztmetszetű és hosszúságú elektróda által kibocsátott rádiófrekvenciás hullám a talajminta ismert hosszán mennyi idő alatt halad oda-vissza (reflektálódik), ezáltal megállapítható a terjedési sebesség. Amikor ezt összehasonlítják a vákuumban való terjedési sebességgel, megkapják, hogy a terjedési sebesség a víz dielektromos konstansától-vagyis a talajban létező vízmennyiségtől függ.



5. ábra TDR elvi vázlat (Forrás: Rajkai, 2004)

A talajban a víz dielektromos tulajdonságai meghatározók, az állandó értéke közvetlen összefüggésbe hozható a talaj nedvességtartalmával:

$$K_a = \frac{c^2 \cdot t^2}{L^2}$$

5. egyenlet

ahol:

K_a – a talaj látszólagos dielektromos állandója [-];

c – a fény terjedési sebessége vákuumban [m/s];

t – a rádiófrekvencia jel visszatérési ideje [s];

L – az elektróda hossza [m].

A kapott K_a érték adott mérőelektróda hosszúságnál csak a talaj nedvességtartalmától függ, nem befolyásolja a talaj sótartalma. Rajkai (2004) vizsgálatai alapján megállapította, hogy a kapacitív szonda 0-50% térfogat-százalékos nedvességtartalom tartományban használható, valamint olyan talajokban, ahol nagy az ionkoncentráció, ezáltal a 0,3%-nál kevesebb sótartalmú talajoknál a módszer nem megbízható.

A nemzetközi talajfizikai gyakorlat jelenleg a TDR módszert fogadja el szántóföldi körülmények közötti talajnedvesség-mérés legpontosabb módszereként, minthogy a kalibrációja univerzális és a talajoldat kémiai összetétele a nedvességmérési eredményt nem torzítja.

2.3.1.7. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének (EC_a) mérése

A Frequency Domain (FD) mérési módszer már több mint 50 éve alkalmazzák a talaj elektromos térrel szemben tanúsított ellenállásának (relatív permittivitás) mérésére (Rajkai,

2004). Ez a méréstípus egyszerűbb a TDR módszerénél, az alkalmazott frekvencia is kisebb (kb. 20 MHz).

Az anyagok elektromos vezetőképessége a konduktancia, amely az ellenállás reciproka.

Jele: G. Mértékegysége: siemens. Jele: S (Emst Werner von Siemens).

A fajlagos elektromos vezetőképesség az egységnyi hosszúságú és keresztmetszetű anyag elektromos vezetőképessége, mértékegysége $S\ m^{-1}$ ill. $mS\ m^{-1}$.

Az elektromos vezetőképesség definíció szerint:

$$G = \sigma \frac{A}{l}, \quad \left[\frac{A}{V} = \frac{A^2 * s^3}{kg * m^2} = Siemens = S \right] \quad [\sigma] = \frac{1}{\Omega m} = \frac{S}{m}$$

6. egyenlet

ahol: A, a vezető keresztmetszete [m^2],

l, a vezető hossza [m],

σ arányossági tényező, a fajlagos vezetőképesség, más néven konduktivitás.

A fajlagos vezetőképesség értéke anyagi jellemző, a fajlagos ellenállás reciproka, és függvénye a hőmérsékletnek. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének (áramvezetésének) mérése közvetett módon alkalmas a talaj különböző fizikai-kémiai tulajdonságainak becslésére:

- talajnedvesség-tartalom,
- agyagtartalom, fizikai talajféleség,
- sótartalom,
- kationcsere-kapacitás (CEC),
- sűrűség,
- szervesanyag-tartalom.

Brevik et al. (2006) kutatásaikban a talaj nedvességtartalma, és fajlagos elektromos vezetőképessége közötti összefüggéseket vizsgálták. Megállapították, hogy a nedvességtartalom szignifikáns hatást gyakorol a fajlagos elektromos vezetőképességre.

Ausztráliában végzett kutatásaikban *Misra és Padhi* (2014) igazolták, hogy a talaj elektromos vezetőképességének (EC_a) legfontosabb befolyásoló tényezője a talaj nedvességtartalma. Fontosnak tartották megemlíteni, hogy elektromos vezetőképesség értékek csak abban az esetben mérhetőek, ha a talaj valamilyen mértékben tartalmaz vizet, mert a levegő és a szilárd fázis esetében az értéke nulla.

Corwin és Lesch (2005), valamint *Shudduth et al.* (2013) vizsgálataikkal alátámasztották, hogy alacsony sótartalmú talajok (nem szikes) esetében az elektromos vezetőképesség mérése felbecsülhetetlen adatokat szolgáltat a talajok minőségéről, annak térbeli és időbeli változásáról, elsősorban a talaj nedvességállapotáról, szerkezetéről, és tömörödöttségének mértékéről.

2.4. Az irodalmi áttekintés összefoglalója

A fejezet első részében a precíziós mezőgazdaság megvalósításának, alkalmazásának területeiről, a technológiai megvalósításához szükséges technikai-ismeretbeli elemekről, a módszer konvencionális gazdálkodással szemben nyújtott előnyeiről volt szó.

A helyspecifikus mezőgazdaság jellemzői közé tartozik a befektetett költségek csökkentése, a terméseredmények maximalizálása mellett a tábla szinten jelentkező terméskülönbségek kiegyenlítése, a termőföld megőrzése, valamint a környezetvédelem szempontjainak fokozott figyelembe vétele. A precíziós gazdálkodás a mezőgazdaság minden területébe integrálható, így például a talajművelésben, tápanyag-visszapótlásban, növényvédelemben, betakarításban, valamint a „post harvest” (betakarítást követő) folyamatokban is nagy sikerrel alkalmazható. A módszer gyakorlatban történő alkalmazása minden esetben gépberuházást és -fejlesztést, valamint az informatikai tudás bővítését vonja maga után.

A fejezet második részében a nitrogéntrágyázás szerepét mutattam be az őszi búza termesztésében. A tápanyagellátás tervezésénél első lépésben meg kell ismerni a mezőgazdasági tábla talajának tápanyagtartalmát, tápanyag-szolgáltató képességének állapotát. Ennek ismeretében, és a termesztett növény igényeihez, tápanyag-felvételi dinamikájához igazodva készíthető alkalmas növénytáplálási terv. A különböző fejlődési stádiumokban elvégzett növényvizsgálatok is segítséget nyújtanak a helyes műtrágya dózis kiválasztásához, valamint a kijuttatás idejének szakszerű megválasztásához. Az őszi búza termesztésében kiemelkedő fontosságú a harmonikus tápanyag-ellátottság, ezért az alap- és fejtrágyák kijuttatásának szakszerűsége meghatározó a termelés eredményességében.

A harmadik részben a talajnedvesség növénytermesztésben betöltött szerepét foglaltam össze. A talaj víztartalma, annak térbeli eloszlása fontos szerepet játszik a termesztett növény megfelelő fejlődésében, valamint a másik nagy termést befolyásoló tényező, a tápanyagok felvételének határfokában. A talajban tárolt víz, valamint annak a növények számára történő hozzáférhetősége meghatározza a termesztés eredményességét, a mindenkori termés nagyságát. Éppen ezért kiemelt fontosságú a talajok víztartalmának, nedvességeloszlásának térbeli

feltérképezése. A talajnedvesség meghatározásának módszertanát összefoglalva megállapítható, hogy a vizsgálatok időigényes, fárasztó, lassú és költséges volta miatt szükség lenne a precíziós mezőgazdaság számára alkalmazható, gyorsabb, költséghatékonyabb, nagyszámú és egyenletes eloszlású mintavételt alkalmazó módszer és technológia kidolgozására. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározása ehhez nyújt lehetőséget a jövőben.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A fejezetben a kisparcellás őszi búza fajta-összehasonlító tartamkísérlet, valamint a precíziós talajnedvesség meghatározásához felhasznált eszközöket és módszereket ismertetem. Az őszi búza esetében a terület elhelyezkedését, ökológiai adottságait, az egyes termesztéstechnológiai elemeket, valamint az alkalmazott statisztikai elemzést taglalom. A talajnedvesség helyspecifikus meghatározásának fejezetében bemutatom a vizsgált terület elhelyezkedését, ökológiai adottságait, az alkalmazott eszközöket és alkalmazásuk módját, a kapott adatok feldolgozását és statisztikai elemzését.

3.1. A kisparcellás tartamkísérletben alkalmazott anyagok és módszerek

3.1.1. A kísérleti terület elhelyezkedése

A Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézetének kísérleti területe egy 5 hektár méretű mezőgazdasági tábla. A kisparcellás vizsgálat helyszínéül szolgáló terület Hatvan-Nagygyompos külterületén helyezkedik el, pontosabban az M3-as autópálya, a 21-es számú főút és a Hatvan-Salgótarján vasútvonal határolta háromszögben fekszik (6. ábra). A terület tulajdonosa magángazdálkodó.

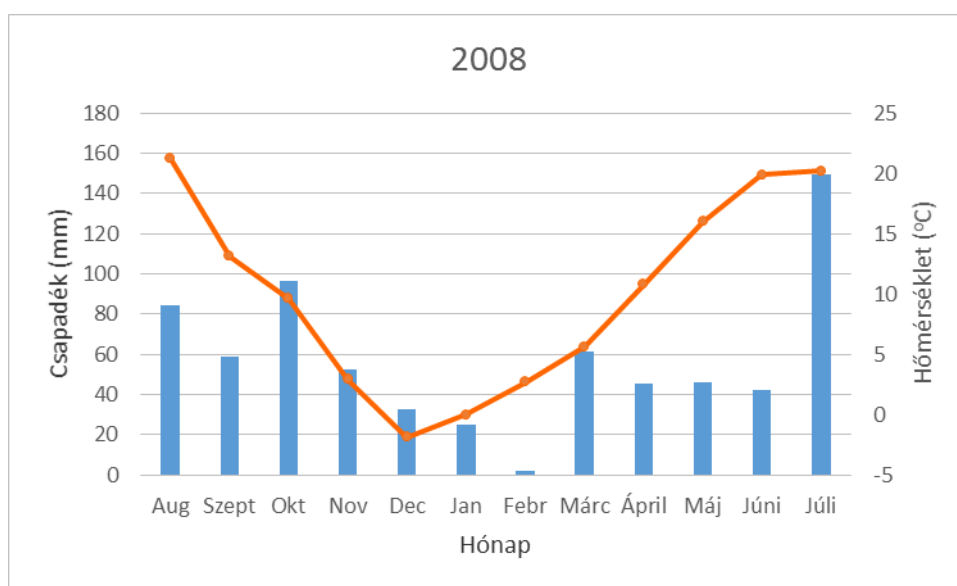


6. ábra A nagygyombosi kísérleti terület elhelyezkedése (Háttérkép: GoogleEarth)

3.1.2. A kísérleti terület klímája

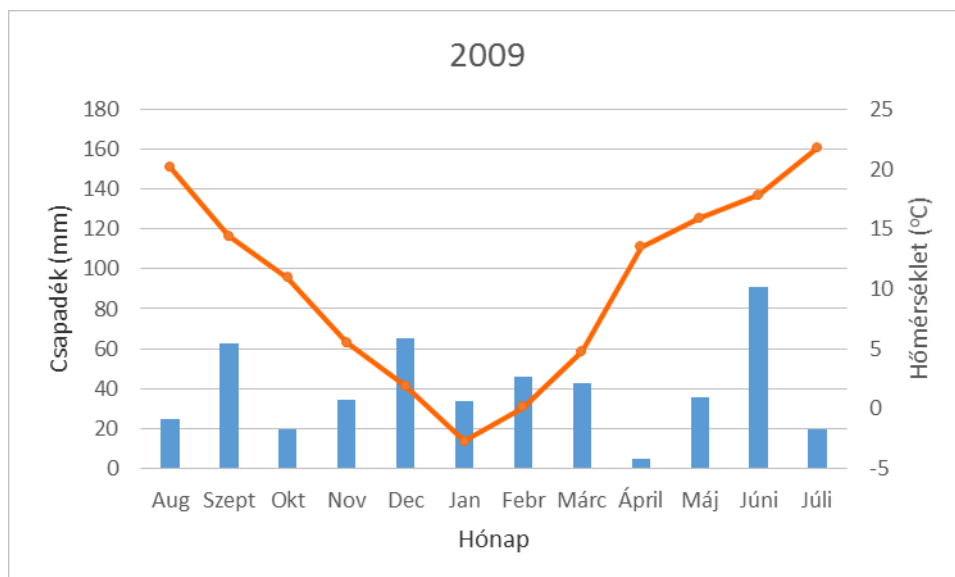
A kísérleti terület Hatvan város külterületén, Nagygyomboson található. A vizsgálatoknak helyet biztosító szántóföldi terület éves átlaghőmérséklete 10,3 °C, a lehullott éves csapadék mennyisége átlagosan 560-580 mm között alakul.

Az alábbi ábrákon szemléltetem a vizsgálat éveinek csapadék- és hőmérsékletadatait, ahol az évszámok minden esetben a betakarítás évét jelentik. Az ábrák értelmezéséhez meg kell jegyezni, hogy az adatokat a vetést megelőző augusztus hónaptól a betakarítás idejéig (július) ábrázoltam, amely egy teljes évet ölel fel. Egy évnek a fejezet első részében az augusztus elejétől július végéig tartó időszakot tekintetem, viszont a vegetációs időszak alatt az októbertől júliusig tartó időszakot értem. A vonal diagram a hőmérsékleti értékeket az oszlop diagram pedig a lehullott csapadék mennyiségét ábrázolja. A 2008. kísérleti év csapadék- és hőmérséklet adatait a **7. ábra** szemlélteti.



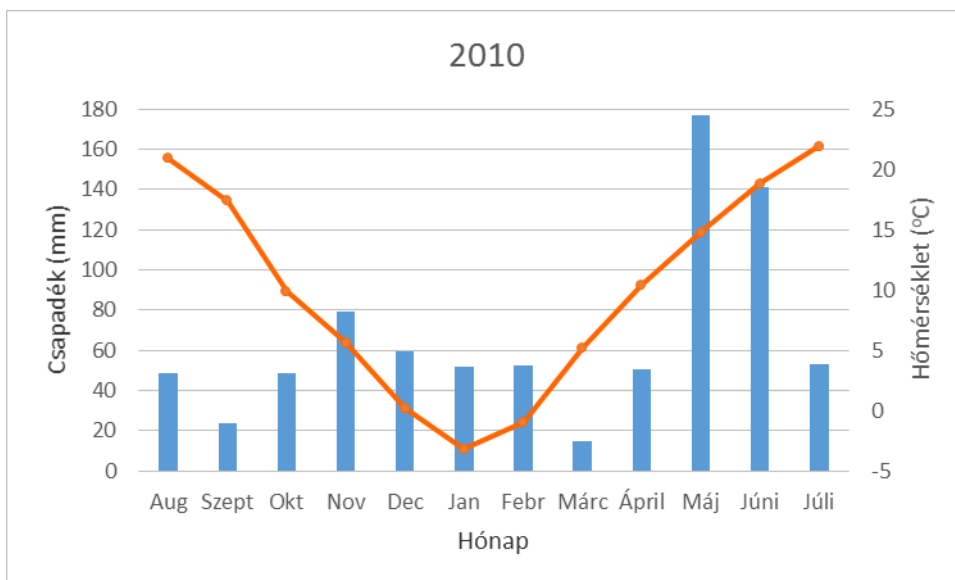
7. ábra A 2008. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)

A kísérlet első évében az augusztustól júliusig terjedő időszakban 695,7 mm csapadék hullott a térségben, ami 120-140 mm-rel több a sokéves átlagnál. A vetés idején (október) az előzetesen lehullott és a vetést követő csapadék segítette az őszi búza csírázását, és egyenletes kezdeti fejlődését. A februári csapadék mennyisége összesen 1,7 mm volt, ami jóval kevesebb az előző évek átlagánál (47,1 mm). A tenyészidőszakban lehullott csapadék mennyisége és eloszlása összességében megfelelő volt a növény fejlődéséhez. A vizsgált időszak legcsapadékosabb hónapja a betakarítás idejére (július) esett, megnehezítve a munkát. A hőmérsékleti adatokat tekintve a leghidegebb hónap a december volt, -1,9 °C-os átlaghőmérséklettel, a tenyészidő legmelegebb (20,1 °C) hónapja pedig július volt.



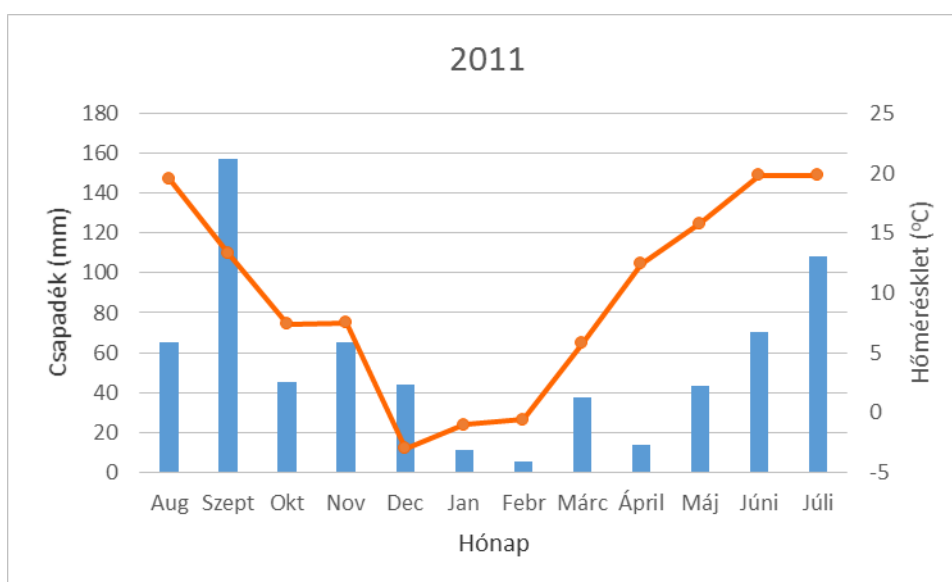
8. ábra A 2009. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)

A **8. ábra** a kísérlet 2. évének csapadék- és hőmérséklet adatait tartalmazza. Az ábrán jó látható, hogy az előző évhez képest több mint 200 mm-rel kevesebb (480,3 mm) csapadék hullott. Ennek ellenére a vetés időszakában, és azt követően a talaj nedvességi állapota kedvező volt az őszi búza keléséhez és kezdeti fejlődéséhez. Az évet és a vegetációs időszakot tekintve is a legszárazabb hónap az április (4,8 mm) volt, megnehezítve a kijuttatott fejtrágya hasznosulását, s ezzel az állomány fejlődését. Az aratás idején, július hónapban 19,6 mm eső hullott, ami nem késleltette a betakarítást. A lehullott csapadék eloszlása és mennyisége ebben az évben alulmúlta az előző évek átlagát. Az évben a leghidegebb hónap a január volt -2,7 °C átlaghőmérséklettel, a legmelegebb átlaghőmérséklet (21,8 °C) pedig júliusban volt mérhető.



9. ábra A 2010. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)

A 2010. év egész Magyarország viszonylatában extrém csapadékösszeget (799,2 mm) mutatott (**9. ábra**), mivel a sokéves átlagot jócskán felülmúlta. Az októberi folyamatos esőzések ellenére az őszi búza vetése sikerült, a folyamatos vízutánpótlás segítette a növény kezdeti fejlődését. Az időszakban a legkevesebb csapadék (14,4 mm) március hónapban hullott, de nem gátolta a növények fejlődését, mivel az előzetesen lehullott nagy mennyiségű téli csapadék következtében a talaj nedves maradt. A vizsgált vegetációs periódus két legcsapadékosabb hónapja a betakarítást megelőző május-június volt, májusban 176,7 mm, júniusban pedig 141 mm csapadék hullott. Az érkező nagy mennyiségű csapadéknak betudhatóan a kísérleti terület nagy részén belvíz alakult ki, amely depresszív módon hatott a növényállományra. A júliusban hulló 53 mm eső nem jelentett volna problémát a betakarításnál, ha ez a mennyiség nem az előzetesen túltelített talajra érkezett volna. Az időszak leghidegebb hónapja ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) a január volt, a legmelegebb ($21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) pedig júliusban volt mérhető.



10. ábra A 2011. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)

A **10. ábra** a vizsgálat utolsó évének, 2011-nek a hőmérséklet- és csapadékadatait szemlélteti. Ebben az időszakban összesen 665,8 mm csapadék hullott a területen, ami az első évhez hasonlóan átlagon felülinek mondható. A vetést megelőzően, és azt követően a csapadékviszonyok kedvezőek voltak az őszi búza vetéséhez, valamint kezdeti fejlődéséhez egyaránt. A két legszárazabb hónap a január (11,1 mm) és a február (5,3 mm) volt, de a márciusi közel 40 mm eső pótolta a hiányzó mennyiséget a talajban. A betakarítás idején, júliusban több mint 100 mm eső hullott, megnehezítve a betakarítást. A leghidegebb hónap ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) a december volt, a legmelegebbet pedig júniusban és júliusban ($19,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) mérték.

3.1.3. A kísérleti terület talaja

A kísérleti terület talaja csernozjom-barna erdőtalaj, legfontosabb átlagos talajvizsgálati adatai a következők (2007. augusztus 5.):

szervesanyag tartalom %:	2,65
CaCO ₃ %:	1,86
pH (KCl):	7,30
K _A :	45
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹):	463 (AL-oldható)
K ₂ O (mg kg ⁻¹):	293 (AL-oldható).
N (mg kg ⁻¹):	0,9 (össz. ásv.)

A talajminták mérési eredményeiből jól látszik, hogy a terület foszforral igen jól, káliummal jól ellátott, így az alaptrágyázás szerepe csak fenntartó jellegű. A vizsgált talajon a növény táplálás szempontjából a nitrogénnek van kiemelkedő jelentősége, mivel a makroelemek közül ez áll korlátozott mértékben a növények rendelkezésére.

3.1.4. Parcella kialakítás, kísérleti elrendezés

Az általunk beállított őszi búza kisparcellás fajta-összehasonlító kísérlet elrendezése osztott parcellás (spit-plot). Az osztott parcellás elrendezésben az egyik faktort a főparcellákban helyezük el. Ezt a faktort főparcella faktornak hívjuk. A főparcellát alparcellákra osztjuk, amelyben a második faktort, az alparcella faktort helyezük el. Tehát minden főparcella az alparcella kezelések (azaz az alparcella faktor szintjei) blokkjává válik. Az osztott parcellás elrendezésnél a főparcella faktor hatás mérésének precizitását feláldozzuk azért, hogy javítsuk az alparcella faktor pontosságát. Az alparcella-faktor fő hatásának és interakciójának mérése a főparcella-faktorról sokkal pontosabb, mint randomizált blokk elrendezésnél. Másrészt, a főparcella-faktor kezelések (a főparcella-faktor szintjei) hatásának mérése kevésbé pontos, mint a megfelelő véletlen blokk elrendezésnél. Mivel az osztott-parcellás elrendezésnél a parcella mérete és a hatások mérésének precizitása nem azonos mind a két faktorra, a megfelelő faktor kijelölése akár főparcellának, akár alparcellának, rendkívül fontos (Berzsenyi, 2015). Esetünkben a fajta jelentette a főparcella faktort, az egyes műtrágyakezelések pedig az alparcella faktort (**1-2. táblázat**). Kísérletünkben kisparcellákon 6 nitrogén dózis (kontroll és 5 kezelés) hatását vizsgáltuk 5 fajta esetében 4 ismétlésben. A parcellák mérete 1x10 m volt.

1. táblázat A kísérlet elrendezése

	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	Kezelések
1. Fajta	1	3	5	2	
	2	4	6	3	
	3	5	1	4	
	4	6	2	5	
	5	1	3	6	
	6	2	4	1	
2. Fajta	1	3	5	2	
	2	4	6	3	
	3	5	1	4	
	4	6	2	5	
	5	1	3	6	
	6	2	4	1	
3. Fajta	1	3	5	2	
	2	4	6	3	
	3	5	1	4	
	4	6	2	5	
	5	1	3	6	
	6	2	4	1	
4. Fajta	1	3	5	2	
	2	4	6	3	
	3	5	1	4	
	4	6	2	5	
	5	1	3	6	
	6	2	4	1	
5. Fajta	1	3	5	2	
	2	4	6	3	
	3	5	1	4	
	4	6	2	5	
	5	1	3	6	
	6	2	4	1	

2. táblázat Magyarázat a kísérleti elrendezéshez és a statisztikához

Fajták	N-szint (kg ha ⁻¹ N)	
1 Alföld	1	0
2 Magdaléna	2	40
3 Suba	3	80
4 Csárdás	4	120
5 Toborzó	5	80+40
	6	80+40+30

3.1.5. Fajtaválasztás és a fajták rövid ismertetése

A kísérletben beállított fajták kiválasztásánál a cél az volt, hogy mindegyik nagy terméshozamú, magas fehérje- és sikértartalommal rendelkező fajta legyen, mivel ezek a kijuttatott hatóanyag-dózisokra is könnyebben reagálnak. A fajták között négy martonvásári búza (Mv Csárdás, Mv Magdaléna, Mv Suba, Mv Toborzó) és egy régebbi, de napjainkban is jól helytálló, 1987-ben államilag elismert fajta, az Alföld-90 (későbbiekben Alföld) szerepelt.

Alföld-90 (1987): Korai érésű, keményszemű, szálkás, kiváló minőségű őszi búzafajta. Ezerszemtömege 39-44 g, hektolitertömege 78-82 kg. Jól bokrosodó, jó szárszilárdságú, közepes

magasságú fajta. Fajtakísérletekben a 2000. évek elején is kiválóan teljesítő, minőségi standard őszi búzafajta.

Mv Magdaléna (1996): Középerésű, keményszemű, szálkás, magas sikértartalmú őszi búzafajta. Ezerszemtömege 41-44 g, hektolitertömege 78,5-84,4 kg. Jól bokrosodó, jó szárszilárdsággal rendelkező, közepes szárhosszúságú fajta. Állami fajtakísérletekben standardként használják.

Mv Suba (2002): Középkorai érésű, keményszemű, szálkás, kiváló malmi minőségű őszi búzafajta. Ezerszemtömege 44-48 g, hektolitertömege 77,2-84,7 kg. Jól bokrosodik, átlagos szárszilárdságú, közepes magasságú fajta, amely kedvező körülmények esetén prémium minőségű lisztet ad. Ennek köszönhetően kiváló malmi és javító fajta. Termesztése malmi célok eléréséhez ideális.

Mv Csárdás (1999): Középkorai érésű, keményszemű, szálkás, magas sikértartalmú őszi búzafajta. Ezerszemtömege 41-44 g, hektolitertömege 76,9-83,6 kg. Jól bokrosodó, jó szárszilárdságú, közepes magasságú fajta. Minőségi paramétereiben megközelítheti, illetve elérheti a később érő Mv Magdaléna szintjét.

Mv Toborzó (2003): Extra korai, keményszemű, szálkás, jó malmi minőséget adó őszi búzafajta. Ezerszemtömege 52-55 g, hektolitertömege 77,7-84,3 kg. Közepes növénymagassággal rendelkezik, korai érése jó fagyállósággal párosul. Kiváló minőségi tulajdonságainak és extrém korán érésének köszönhetően a jó búza termőhelyeken javasolt termesztése.

3.1.6. A tápanyagellátás

A kísérleti téren alaptrágyaként, a vetést megelőzően egységnyi (300 kg ha⁻¹) komplex (N:P:K=15:15:15) műtrágya került kijuttatásra röpitőtárcsás műtrágyaszóró segítségével. Az alap műtrágyaként szórt komplex hatóanyag a talajvizsgálat eredményei alapján csupán fenntartó jellegű. A kijuttatott műtrágyát minden esetben a magágykészítés során, kombinátorral kevertük a talajba. A különböző egyadagú (0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹) N-dózisokat tavasszal fejtrágyaként, a bokrosodás kezdetén juttattuk ki, a két- vagy három adagú (megosztott fejtrágya: 80+40, 80+40+30 kg ha⁻¹) N-dózisok esetében pedig az elsőt a bokrosodás kezdetén, a másodikat szárbainduláskor, a harmadik nitrogén adagot a zászlós levél megjelenésekor szórtuk ki az állományra. A fejtrágyázás a parcellák kis mérete miatt minden esetben a pontos dózis kimérése után kézzel történt.

3.1.7. Talajművelés

A vetésforgó kívánalmai szerint váltott területet úgy igyekeztünk megválasztani, hogy az elővetemény mind a négy vizsgált esztendőben azonos legyen, esetünkben szárazbab. Az elővetemény betakarítása (augusztus eleje) után tarlóhántást végeztünk vontatott V-tárcsa segítségével. A vizsgált időszakban minden esetben forgatásos alpművelést alkalmaztunk 28-32 cm mélyen, a talajnedvesség-veszteséget hengerrel történő elmunkálással előztük meg. A vetőágy készítése előtt került sor a komplex műtrágya kijuttatására is, melyet ezzel a művelettel kevertünk a talajba. A magágy készítése minden esetben a vetés előtt közvetlenül történt, rugós kapás kombinátorral.

3.1.8. A kísérletek beállításának és fenntartásának termesztéstechnológiai elemei

Vetés

A vetést minden évben az intézet 8 soros önjáró, csúszó csoroszlyás Wintersteiger Plotman (Wintersteiger GmbH., Ried, Ausztria) típusú parcella-vetőgéppel kiviteleztek. A vetőgép kifejezetten kisparcellás gabonakísérletek beállítására lett kifejlesztve, így nagyon pontos beállítást és precíz parcellaméret kialakítást tesz lehetővé.

Művelőutak kialakítása

Az osztott parcellás rendszerben elvetett bokrosodó őszi búza állományban a keresztben húzódó művelőutak kialakítását rotációs kapa segítségével végeztük, tavasszal. Az utak kialakításával hoztuk létre a végleges parcellaméreteket.

Növényvédelem

A növényvédelmi kezelések (gyomirtás, gombaölő-szeres védekezés) minden esetben háti permetezővel történtek, így szélesebb művelőutak kialakítására a vetésnél nem volt szükség. Az állomány gyomirtása minden évben tavasszal, a bokrosodás végén történt 40 g ha⁻¹ dózisban a DuPont Granstar Super 50 SX (hatóanyag: 25% tribenuron-metil + 25% tifenzulfuron-metil) készítménnyel, amely hatásos a magról kelő kétszikű gyomok és a mezei acat ellen is. Rovarölő szeres védekezésre a kísérlet ideje alatt nem volt szükség. A gombás fertőzés ellen egy esetben, a 2010. extrém csapadékos évben kellett védekeznünk. Ekkor ugyancsak a Dupont készítményét, az Acanto Plus (200 g/l pikoxistrobin + 80 g/l ciprokonazol) gombaölőszert alkalmaztuk, a dózis 0,8 l ha⁻¹ volt. A vegyszer kijuttatása az állomány szárbaindulásakor történt.

Betakarítás és mintavétel

A betakarítást ugyancsak a Növénytermesztési Intézet tulajdonában lévő Wintersteiger Nurserymaster (Wintersteiger GmbH., Ried, Ausztria) parcellakombájn segítségével kiviteleztek. A kombájn 1 m vágóasztal-szélességgel rendelkezik, így a 10 m² parcellák

betakarítására alkalmas volt. A betakarítógép működéséből adódóan lehetővé teszi, hogy minden egyes parcella termését pontosan elkülönítve lemérjük, és minden egyes kezelés minden ismétléséből mintát vegyünk. A 10 m² parcellák termésait hektárra átszámolva kaptuk meg a termésátlagokat.

3.1.9. Statisztikai elemzés

A kapott terméseredmények statisztikai elemzését a GenStat program segítségével végeztük. Az „Analysis of Variance” választási lehetőségei közül a „General Analysis of Variance” menüből a „Split-plot Design” lehetőséget választottuk. Az adatfájlban külön oszlopok tartalmazzák a termésadatokat, a blokkokat, a főparcellákat és az alparcellákat. Az „Available Data” doboz tartalmazza a megfelelő input adatokat. A kísérleti elrendezést leíró modellt be kell írni a „Treatment Structure” input dobozba. Példánkban a kezelés struktúra Fajta × N-dózis, amely magában foglalja a faktorok fő hatásának és interakciójuknak a kiszámítását. Az „Interactions” dobozban rendszerint az alapértelmezés szerinti „All interactions”-t választottuk. A varianciaanalízis eredménye sorrendben tartalmazza a variancia táblázatot, az átlagokat, az átlagok különbségének szórását és a szignifikáns differenciákat (Berzsenyi, 2015).

A varianciaanalízis (ANOVA-táblázat) csak azt mutatja meg, hogy van-e szignifikáns különbség a kiértékelt eredményeknél, de azt nem, hogy pontosan melyik csoportok között. Ennek a megállapítására több utóteszt (POST HOC) is létezik.

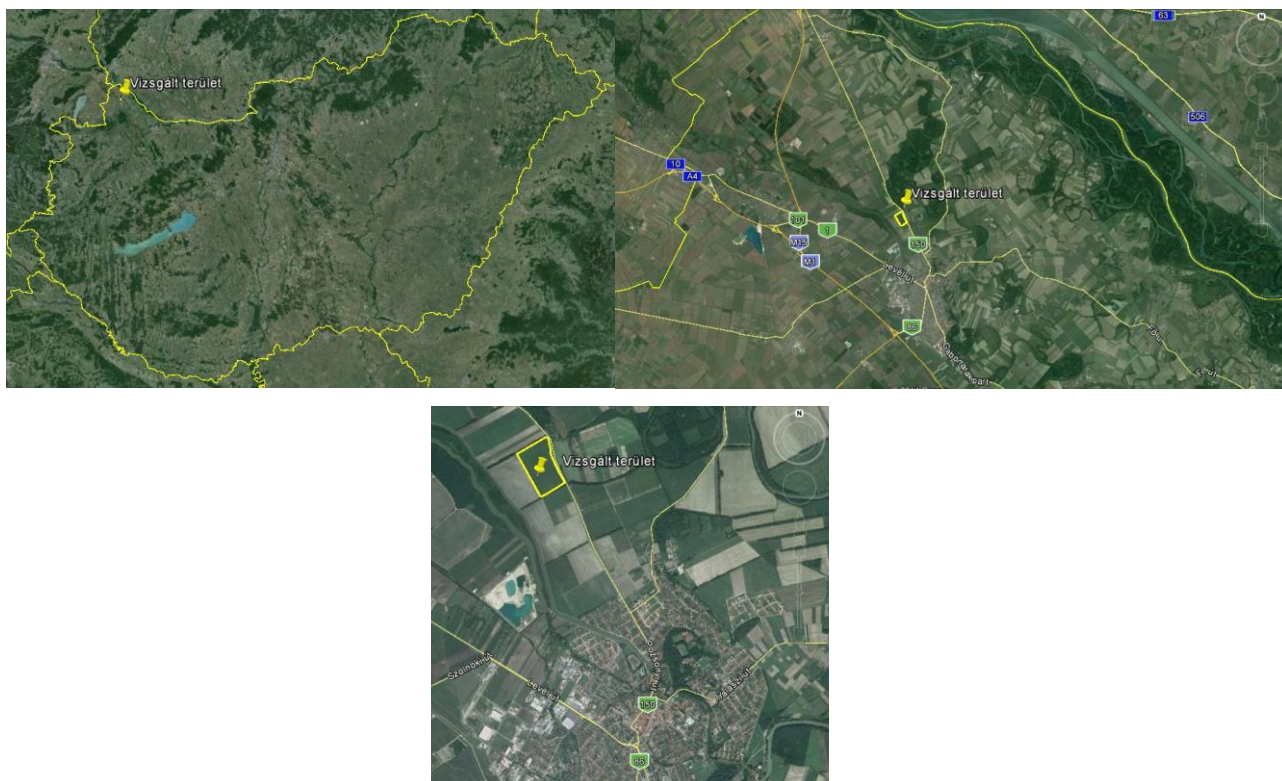
Az adatok utótesztjét Duncan többszörös rang teszttel végeztük el. Itt a homogén csoportok képzése volt a cél. Napjainkban az egyik legjobbnak tartott többszörös összehasonlító teszt. A teszt során használatos grafikus megjelenítés nagyban segíti a kapott eredmények értelmezését. Ketskemény *et al.* (2011) szerint a Duncan-módszer a mezőgazdasági kutatásokban is nagy jelentőséggel bíró teszt.

3.2. A talajnedvesség értékének meghatározására alkalmazott eszközök és eljárások

3.2.1. A vizsgálatok helyszínének és agroökológiai adottságainak bemutatása

3.2.1.1. A kísérleti terület elhelyezkedése

A kutatási terület Mosonmagyaróvár külterületén, a 150-es számú főútvonal mellett található. A mezőgazdasági tábla a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karának, Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Intézetének kísérleti területe (**11. ábra**), egy 2001 óta precíziós gazdálkodásban lévő 23,52 hektáros mezőgazdasági tábla, melynek MEPAR kódja K2XEW-8-08.



11. ábra A vizsgált terület elhelyezkedése (Háttér: GoogleEarth)

3.2.1.2. *A terület talaja*

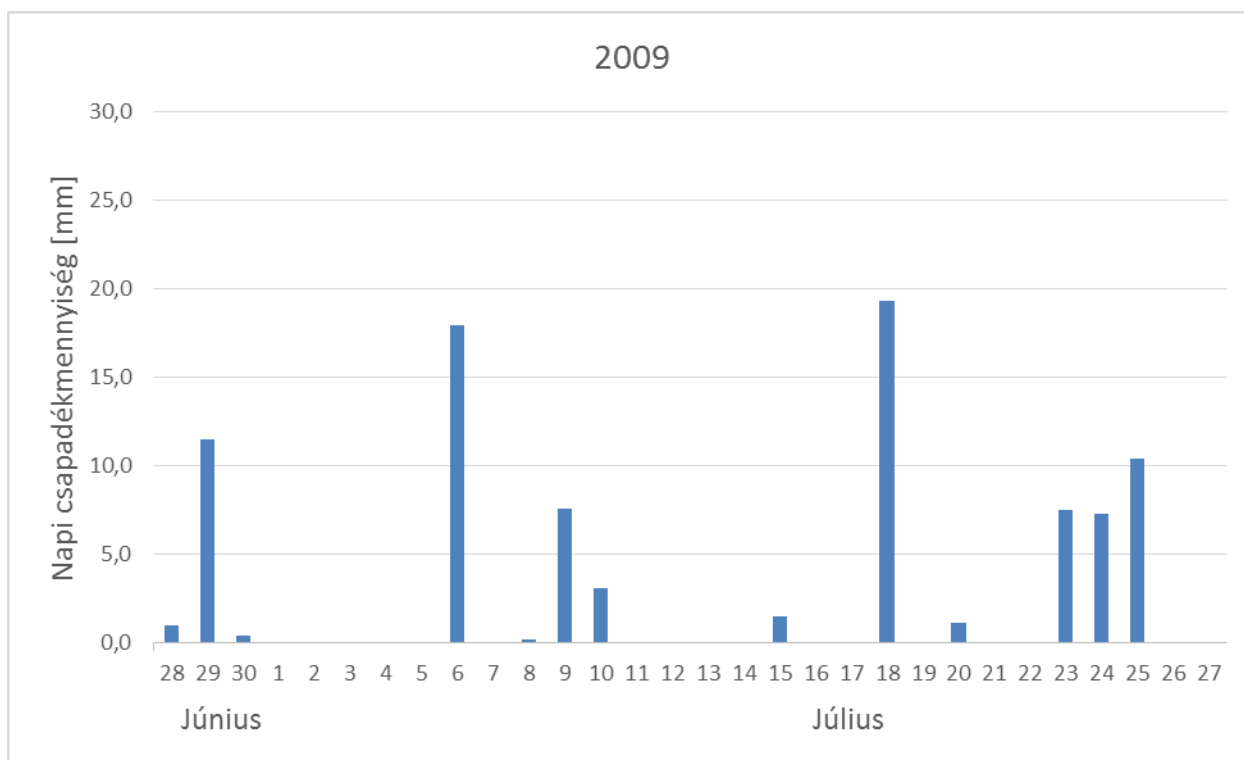
A terület mezőgazdaságilag intenzíven művelt alluviális síkság. A precíziós módszerrel művelt tábla heterogén, egy talajszelvény leírással nem jellemezhető. Ennek a heterogenitásnak az oka a területen húzódó eltemetett folyómeder. A vizsgálat helyszíne humuszos öntéstalaj, amelynek a legfelső 20 cm rétegében a talaj humusztartalma 1,4-2,8% között változik. A humusztartalom ilyen mértékű változása is teljes mértékben követi a terület jellegzetes mintázatát. A kisebb humusztartalommal rendelkező részeken a homokfrakció aránya jelentősen megnő, ahol viszont magasabb értékekkel találkozunk, ott a vályog- és agyagfrakció a meghatározó. Az előbbiekből következtetve a tábla talajának vízgazdálkodása egységesen nem jellemezhető. A talaj felső 20 cm rétegének térfogattömege 1,1-1,4 g/cm³ között változik, ugyancsak a tábla mintázatához igazodóan. A szántóföldi vízkapacitás térfogatszázalékban megadott értéke ebben a rétegben 0,50±0,05. A tábla észak-nyugati sarkában, ahol a tengerszint feletti magasság a legalacsonyabb (121,5 m) a szántóföldi vízkapacitás (pF=2,3), a nehezen felvehető talajvíz (pF=3,4) és a hervadáspon (pF=4,2) értékek az Szigetköz ártéri területeire jellemző tulajdonságokat mutatják. Ezek értékei: szántóföldi vízkapacitás 48,63; nehezen felvehető talajvíz 41,26 és hervadáspon 25,25. Ezzel szemben a tábla magasabban elhelyezkedő részein (tengerszint feletti magasság 123,5 m) a Szigetköz mezőgazdasági művelés alatt álló területeinek megfelelő hidrológiai határértékek jellemzők: szántóföldi vízkapacitás 30,29; nehezen felvehető talajvíz 15,98 és hervadáspon 9,71 (Nagy, 2004).

3.2.1.3. *A mintavételek időpontjai*

1. 2009. július 28.: Őszi búza elővetemény betakarítása után, hántatlan tarlón végeztük a mintavételt.
2010-ben a mérések tervezett időszakában folyamatos esőzés volt, ezért mérést nem tudtunk ebben az évben végezni.
2. 2011. április 13.: A területen a magágy-készítés előtt mértük a talajnedvességet és a fajlagos elektromos vezetőképességét, a mérések után készítették magágyat a kukoricának.
3. 2012. november 14.: A vizsgálatokat szója betakarítása után, zúzott, nem hántott tarlón végeztünk.

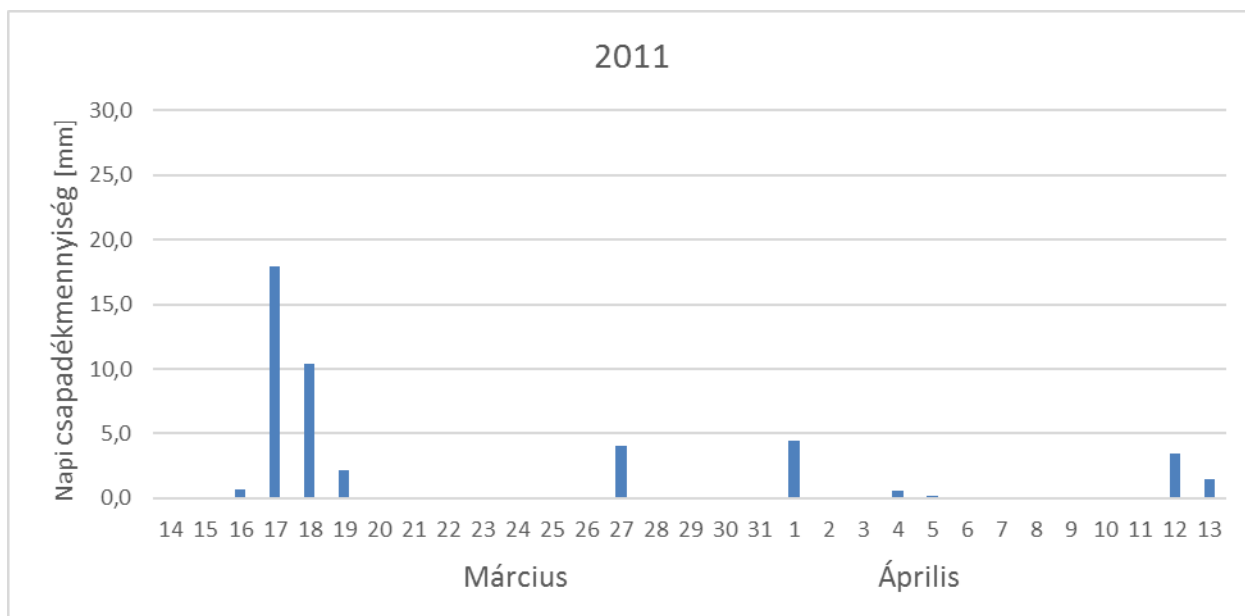
3.2.1.4. A méréseket megelőző időszak csapadékadatai

A lehullott csapadékmennyiségek értékeit NymE-MÉK Meteorológiai Állomásának mérései alapján ismertetem. A 2009. évben a sokéves átlaghoz (1981-2010) viszonyítva a június és július hónapok kiugróan csapadékosak voltak. Június hónapban összesen 135 mm eső esett, ami a sokéves átlag (66,8 mm) a kétszerese. A **12. ábrán** kitűnik, hogy a mérés előtti 30 napban az időjárás meglehetősen csapadékos volt, a vizsgált időszakban összesen 88,8 mm csapadék hullott. A méréseket megelőző 10 napban a területen 45,6 mm csapadék esett, a havi csapadékmennyiség (75,9 mm) 60%-a. A csapadékos időjárásnak köszönhetően az alacsonyabban fekvő területeken telítettséghez közeli talajnedvesség-tartalomra számítottunk.



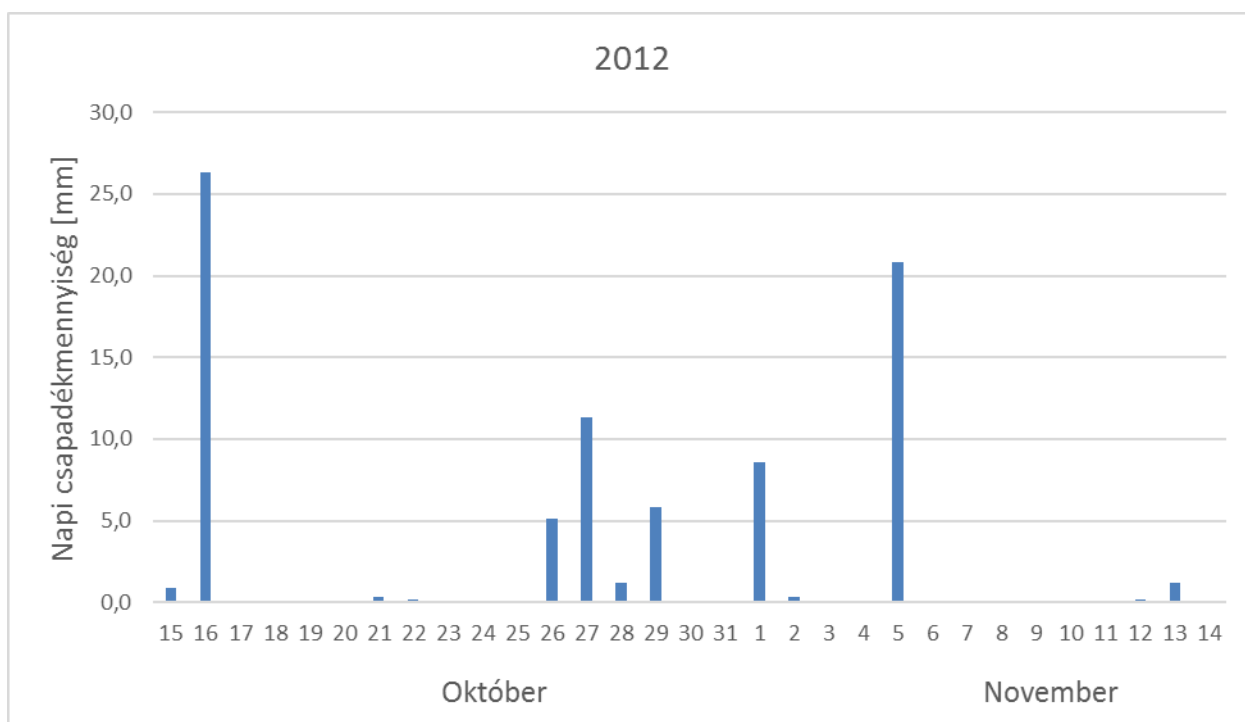
12. ábra A 2009. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban

A 2011. évben – amely a vizsgált 2009. évhez képest jóval szárazabb volt – a vizsgálatot megelőző 30 napban összesen 45,7 mm volt a csapadék mennyisége, amelynek nagy része (28,3 mm) március hónap közepén hullott. A **13. ábrán** jól kivehető, hogy a vizsgálat előtti 10 napban csupán 5,8 mm eső esett, ezáltal a 2009. évihez képest alacsonyabb talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség értékekre számítottunk.



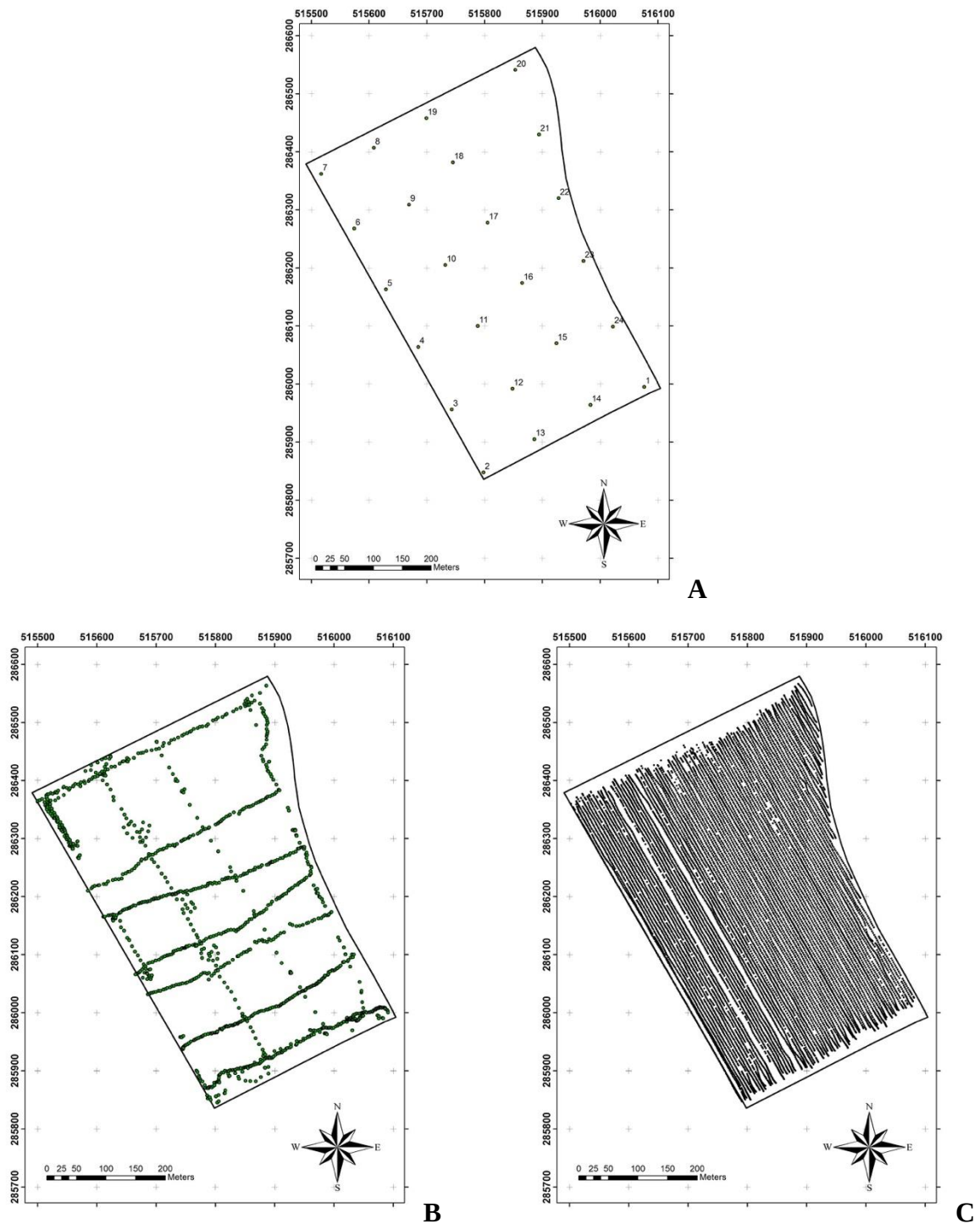
13. ábra A 2011. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban

A vizsgálat harmadik évében (2012) a mérést megelőző 30 nap csapadéka (**14. ábra**) összesen 82,5 mm vízhez juttatta a talajt. Ez az érték némileg kevesebb a 2009. évi méréshez képest. Amennyiben megnézzük a vizsgálat előtti 10 nap csapadékát (22,2 mm) megállapítható, hogy az előző év mérést megelőző 10 nap csapadékának majdnem négyszerese. Ez a mennyiség a vizsgált 10 napos periódus első napján hullott, az ezt követő csapadék mennyisége már nem volt számottevő.



14. ábra A 2012. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban

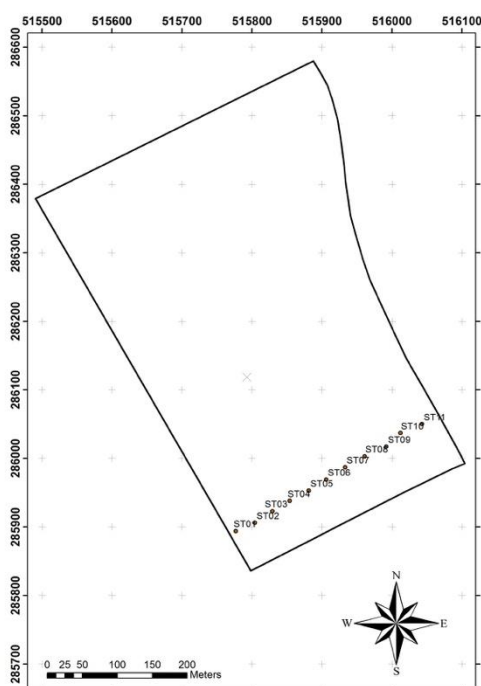
3.2.2. A mintavételi pontok elhelyezkedése, eloszlása, száma

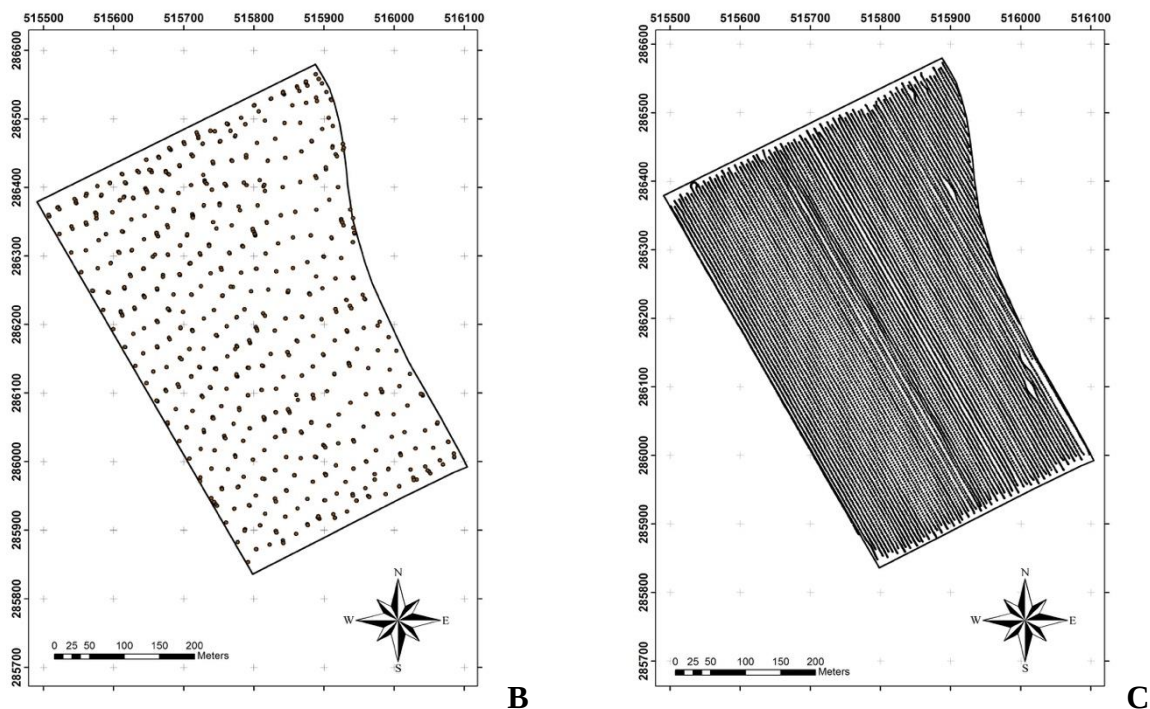


15. ábra A 2009. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (gravimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100)

A **15. ábra** a 2009. év mérési pontjainak elhelyezkedését mutatja a vizsgált mezőgazdasági táblán. Az **A** képen a gravimetrikus talajnedvesség vizsgálatához vett talajminták elhelyezkedése látható. A mintavételnél 24 pontból vettünk talajmintát 100 cm³-es Kopecki-féle hengerekkel, a talaj nedvességtartalmát szárítószekrényben történő szárítással határoztunk meg.

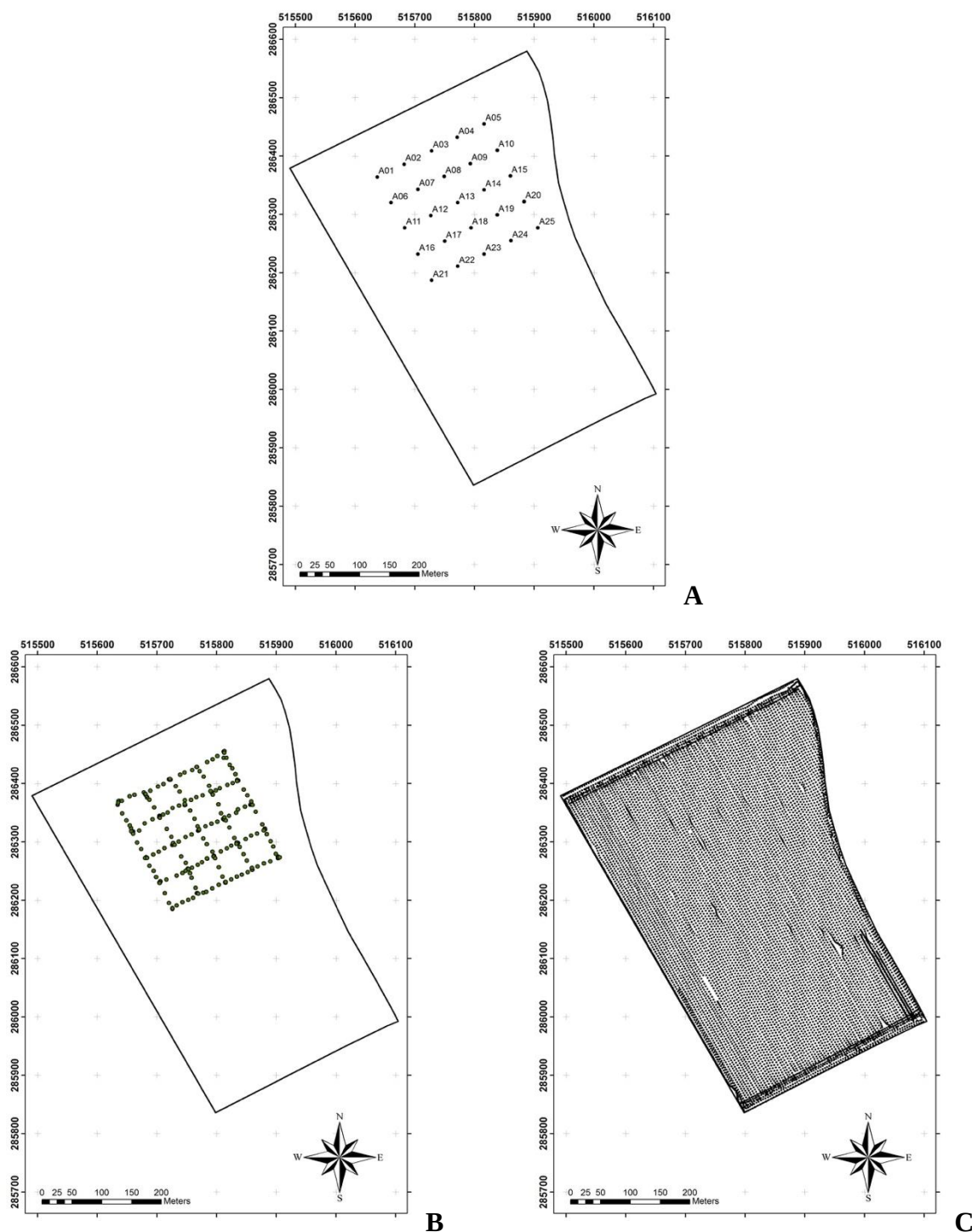
Az ábra **B** képen a TDR-300 mérőműszerrel végzett talajnedvesség-mérés pontjai láthatók. A mérés során a terület 1364 pontjában mértük a talaj nedvességét, ami két nagyságrenddel nagyobb adatmennyiséget eredményezett, mint a gravimetrikus méréshez vett minták száma. A **C**-vel jelölt kép szemlélteti a Veris 3100-as készülékkel végzett talaj fajlagos elektromos vezetőképesség mérésének mintavételi pontjait. A vizsgálat ebben az esetben 13531 mintavételi pontot eredményezett, amely mintaszám a TDR-300 adataihoz mérten is egy nagyságrenddel nagyobb. A gravimetrikus mintavételnél a mérési pontokat úgy helyeztük el, hogy a tábla minden pontjából legyen mért adatunk. A TDR-300 műszerrel végzett vizsgálatnál a táblát hosszában és keresztben is mintáztuk, de a mintavételi pontok eloszlása nem lett egyenletes, mivel a vonalak kijelölése szemre történt. A leegyenletesebb eloszlású mintavételt a Veris 3100 eszközzel kivitelezett mérés eredményezte, amely a sűrű sávválasztás és a másodpercenkénti mérés eredménye. A Veris-szel végzett mérés mintavételi térképén két kihagyott sáv is található, melynek oka, hogy a traktoros nem a sorvezető által jelölt következő sávra fordult a traktorral, hanem azt kihagyta. A kapott adatok azonban így is kellően nagyszámúak. A tábla teljes térképezéséhez minél nagyobb adatmennyiség szükséges, mivel a nagyszámú és egyenletes eloszlású adatok alapján lehet hiteles térképet készíteni.

**A**



16. ábra A 2011. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (gravimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100)

A **16. ábrán** a 2011. év mintavételi pontjai láthatók. Ebben az évben bolygatatlan talajmintákat csupán egy sávból vettünk, melyet az ábra **A** jelű képe szemléltet. A mintavétel eredményeként 11 pontból kaptunk nedvességadatokat. A 2011. évi TDR-300-zal végzett mérésnél igyekeztünk homogén eloszlású mintapont elhelyezkedést megvalósítani, amelynek eredményeit a **B** jelű kép mutatja. A vizsgálatban 654 pontban mértük a talajnedvességet, amely a gravimetrikus mintaszámhoz képest egy nagyságrenddel magasabb érték. A minták eloszlása a 2009. évhez képest egyenletesebb, a nagyjából felére csökkent mintaszám ellenére is. A **C** kép a 2011. évi Veris mérés pontjait mutatja, amely nem mutat eltérést a 2009. évhez képest, mivel a mérés automata kormányzással lett kivitelezve. A mintázás ebben az évben is a Veris 3100 eszközzel volt a legegyszerűsebb, ennek során 15249 pontban mértük a talaj fajlagos elektromos vezetőképességét.



17. ábra A 2012. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (garvimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100)

A 2012. évi mérésnél 25 bolygatatlan talajminta vétele történt. A mintavételi pontok elhelyezkedését a **17. ábra A** képe szemlélteti. A képen kivehető, hogy a minták elhelyezése 5x5-ös kvadrátban történt, egy négyzet nagysága 20x20 m volt, és a vizsgált terület egy központi részén helyeztük el. Az ábra **B** részében a gravimetrikus mintavételi stratégiát követő TDR-300 talajnedvesség mérővel vett minták pontjai láthatók. A nedvességmérés eredményeként 255 mintavételi pontot kaptunk. A Veris 3100 készülékkel végzett mérésnél 10973 mintavételi pont

keletkezett, amelyek ebben a vizsgált évben is a legegyenletesebb eloszlást mutatták (C kép). Az előző évek mintavételezési hibáiból tanulva, és a teljes területi lefedettséget biztosítandó, az eszköz használatának végén a forgókat keresztben is mintáztuk.

3. táblázat Az eredeti és a statisztikai leválogatást követő mintaszámok

	Eredeti mintaszám (db)			Leválogatás utáni (db)		Kiszűrt adatok %-ában	
	Gravi- metrikus	TDR- 300	Veris 3100	TDR- 300	Veris 3100	TDR- 300	Veris 3100
2009. 7. 28.	24	1364	13531	1195	13446	12,4	0,63
2011. 4. 13.	11	654	15249	649	15249	0,76	0
2012. 11. 14.	25	255	10973	255	10969	0	0,036

A **3. táblázat** az egyes mintavételek mintaszámait mutatja. A táblázat első három oszlopában a vizsgálat során kapott eredeti mintavételi pontok száma látható. A negyedik és ötödik oszlopban a TDR-300-zal végzett talajnedvesség, és a Veris 3100-zal mért fajlagos elektromos vezetőképesség adatok száma látható a kiugró értékek leválogatása után. Az utolsó két oszlop pedig a leválogatás során kiesett minták számának százalékát szemlélteti az eredeti mintaszám viszonylatában.

3.2.3. A talajnedvesség- és fajlagos elektromos vezetőképesség-mérések eszközei és módszertana

3.2.3.1. Gravimetrikus nedvesség-meghatározás

A vizsgálat mindhárom évében történt bolygatatlan talajminta-vétel. A bolygatatlan minták megvétele és vizsgálatig történő tárolása Kopeczky-hengerekben (100 cm³) történt. A minták súlyát a szárítószekrénybe történő helyezés előtt lemértük, majd 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk azokat. A szárítás befejeztével a mintákat ismételten lemértük, így az eredeti és szárított tömeg különbsége adta az elpárolgott víz súlyát. A mintavételi pontok kis száma miatt a gravimetrikus talajnedvesség adatokból térképet nem készítettünk, viszont a terepi talajnedvesség vizsgálat eredményeinek ellenőrzésére felhasználtuk azokat.

3.2.3.2. Volumetrikus talajnedvesség-meghatározás

A talajnedvesség meghatározásának technikáját és a kapott eredmények összehasonlítását korábban több szerző is publikálta (*Rajkai és Rydén, 1992; Rajkai, 1993; Nagy et al., 2008*). A talajnedvesség-térkép készítéséhez Spectrum TDR-300 típusú talajnedvesség mérőt használtunk. A készülék TDR (Time Domain Reflectometry) mérési elv alapján határozza meg a térfogat-százalékos (volumetrikus) talajnedvesség-tartalmat. A terepi gyorsmérő – azonnali adatot szolgáltató – berendezések között napjainkban ezek az eszközök biztosítják a legpontosabb mérést. A mérési felbontás 1%, a műszer pontossága <3%, mérési tartománya 0-50%. A készülék a nedvességtartalom mellett a mérés helyének koordinátáit is eltárolja, amennyiben a soros vonalon egy GPS-vevőből NMEA-0183 formátumú jelet érzékel. A beépített memória kapacitása 1350 mérés GPS koordinátákkal, illetve 3250 mérés GPS koordináták nélkül.

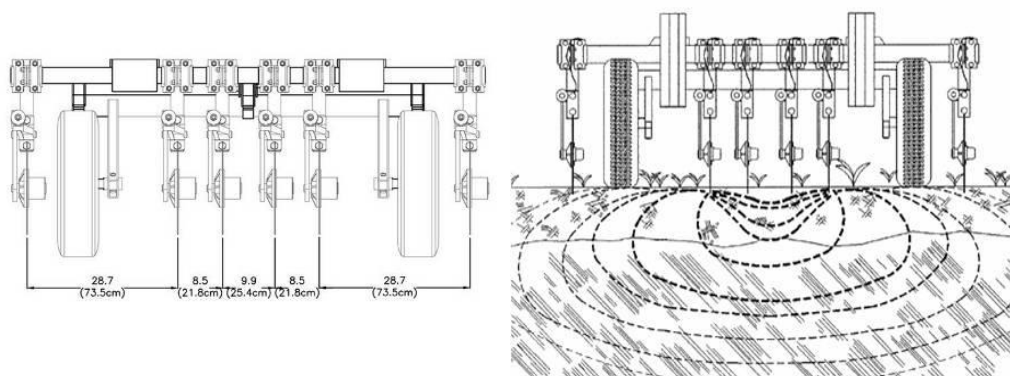


18. ábra A Spectrum TDR-300 talajnedvesség mérő felépítése és alkalmazása

A talajnedvesség méréséhez a GPS-antennát hátizsákra épített árbocrúd tetejére helyeztük (18. ábra). A TDR-300 készülékhez 20 cm-es mérőtűskét használtunk, ez határozta meg a mérési mélységet. A talajnedvesség-mérés során bejártuk a vizsgált táblát, közben 5-10 m távközönként leszúrtuk a TDR-300 mérőeszközt a talajba, majd az adatokat tároltuk. A mintavételezés során minden esetben a munkagépek nyomközeiben végeztük a mérést, annak elkerülése érdekében, hogy a munkagépek talajtaposása okozta eltérő talajtömörödöttség ne befolyásolja a kapott értékeket. A TDR-300 mérési eredményeit elfogadtuk, mivel előzetes vizsgálatainkban a terület 20 pontján vett bolygatatlan talajminta alapján meghatároztuk a talaj gravimetrikus nedvességtartalmát. A szárítószekrényes és a TDR nedvességadatok között szoros összefüggést találtunk, az R^2 értéke 0,88 volt. Ez alapján a TDR-300 műszert kalibráltnak tekintettük.

3.2.3.3. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározása

A talajnedvesség-méréssel egyidőben a Veris 3100 típusú eszközzel (**19. ábra**) a táblát bejárva felmértük a talaj fajlagos elektromos vezetőképességét. A Veris 3100 mérőberendezés legfontosabb eleme a 6 db Ø430 mm átmérőjű mérőtárcsa, amelyek elektromosan szigeteltek minden más részegységtől, ezenkívül rendelkezik egy hidraulikus kiemelő egységgel, valamint egy adatrögzítő központi vezérlővel. A műszert egyenletesen vontatva a talajba süllyesztett mérőelektroda-pár ismert feszültségű áramot vezet a talajba, a másik két pár gördülő elektróda pedig folyamatosan méri a feszültségesést. A középen elhelyezett két elektróda a 0-30 cm mélység, a két szélső pedig a 0-90 cm talajréteg elektromos vezetőképességét detektálja. Jelen tanulmányban kizárólag a 0-30 cm mélységben mért adatokat használtuk fel. A működéshez DGPS üzemmódban dolgozó GPS-vevő szükséges. A Veris 3100 a mért adatokat másodpercenként tárolja. Rögzítésre kerültek a mérés koordinátái is, a mérés végén számítógépre mentettük az adatokat.



19. ábra A Veris 3100 mérőműszer felépítése és működési elve



20. ábra A Veris 3100 fajlagos vezetőképesség mérő használat közben

A Veris 3100 műszert traktorral vontattuk (**20. ábra**). Mérés közben a Trimble AgGPS 114 sorvezetőt használtuk, amely a GPS koordinátákat biztosította a készülék számára, valamint egyúttal sorvezetőként is működött. A mérés 18-20 km/h sebességgel történt, emiatt kb. 5 méterenként kaptunk mért adatot. A beállított sortávolság 5 m volt, melynek eredményeként kb. 5m x 5m távolságokban került sor egy-egy mérési adat eltárolására. A sorvezetővel a mérés kezdetén felvettünk a tábla egyik szélén egy A-B egyenest, ezután az AgGPS sorvezető segítette a járművezetőt az egyenes mentén való haladásban, valamint a fordulóokban. A kemény talaj és a vontatmány kis súlya miatt mérés közben pótsúlyozást alkalmaztunk.

A szakirodalmi adatok alapján, alacsony sótartalmú (nem szikes) talajok esetében, a vezetőképességből következtetni lehet a talaj nedvességtartalmára, frakcióinak összetételére, így a homok, a humusz és az agyag relatív mennyiségére. Emellett az elektromos vezetőképesség összefüggésben van a rögmérettel, a tömörödöttséggel, valamint a szervesanyag-tartalommal is.

3.2.4. Az adatok feldolgozása, térképkészítés

A mérés végén mindkét mérőműszerből számítógépre töltöttük fel az adatokat, a további adatfeldolgozást a MS Excel, EHT², illetve ArcGIS programokkal végeztük.

Magától értetődő, hogy amennyiben a mért adatoktól eltérő referencia rendszerben dolgozunk (pl. Magyarországon), a mérési eredményeket transzformálni kell a használt referencia rendszerbe (*Mihály, 1994*). Mivel az általunk használt GPS-ek a nedvesség és vezetőképesség adatokhoz WGS84 (World Geodetic System) földrajzi koordinátákat társítottak, azokat az EHT² programmal átkonvertáltuk a Magyarországon polgári térképezésben használatos EOVS (Egységes Országos Vetület) koordináta rendszerbe (*Borza és Busics, 2005*).

A mentett adatokat beolvastuk az ArcGIS ArcMap 10.1 programmal, és IDW (Inverse Distance Weighting) interpolációs eljárással készítettük el a terület talajnedvesség és elektromos vezetőképesség térképeit. Mivel a mezőgazdasági tábla összes pontjában nem végeztünk méréseket, a terület teljes térképezéséhez az ismert pontok adatait használtuk fel úgy, hogy a terület nem mért pontjainak értékeire a meglévő adatok segítségével adtunk közelítést. Az interpoláció 5 m felbontásban történt.

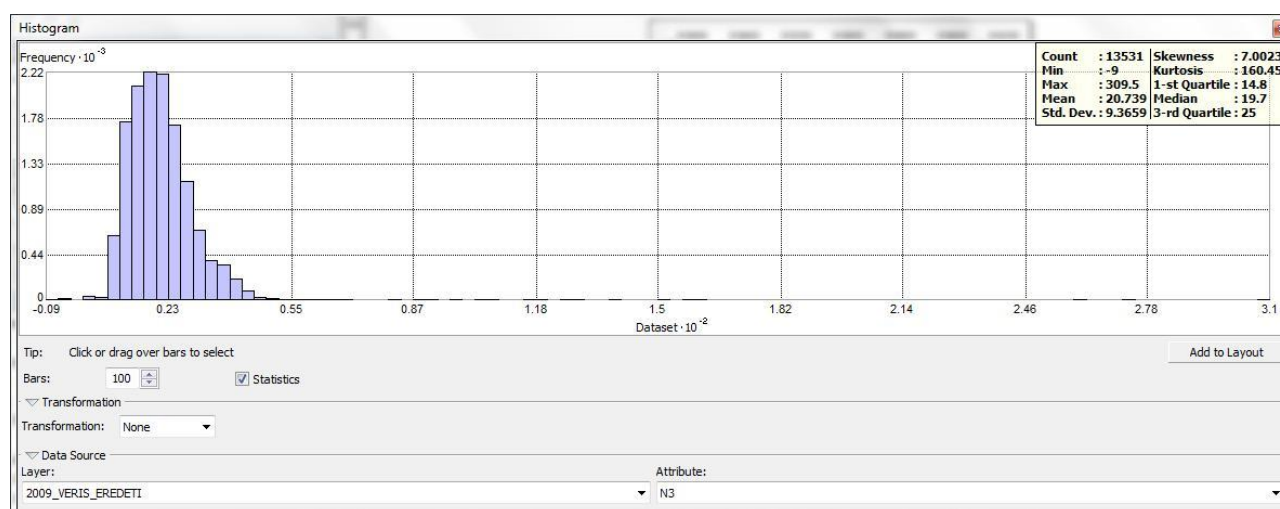
3.2.5. A nagy mennyiségű adatbázisok geostatistikai leválogatása

A kísérleti adatbázisokban, illetve a távérzékelés adatainak biometriaie értelmezésében a kalibrálás, valamint a matematikai adatértelmezés szerepe meghatározóvá válik (*Borgefors*, 1986; *Kotropoulos*, 2010)

A precíziós gazdálkodásban történő real-time méréseknél kapott nagy mennyiségű adat tartalmazhat kiugró értékeket, melyek adatsorból történő leválogatása elengedhetetlen a statisztikai vizsgálat elvégzése előtt. Amennyiben a leválogatás nem történik meg, úgy már kevés kiugróan alacsony illetve magas adat, esetleg negatív vagy nullás mért érték is valótlán eredményeket adhat.

A nagy mennyiségű adat leválogatásához alkalmazott módszert a 2009. évi talaj fajlagos elektromos vezetőképesség mérés példáján át szemléltetem. A vizsgálat során 13531 db mért adatot kaptunk.

Az ArcMap/ArcView szoftver segítségével a fajlagos elektromos vezetőképesség nyers adatainak előkészítését végeztük el a geostatistikai elemző kiterjesztés alkalmazás segítségével. Amennyiben a teljes adatbázist (13531 db mérési pont) hisztogramon ábrázoljuk megállapíthatóvá válik az adatok eloszlása (**21. ábra**).



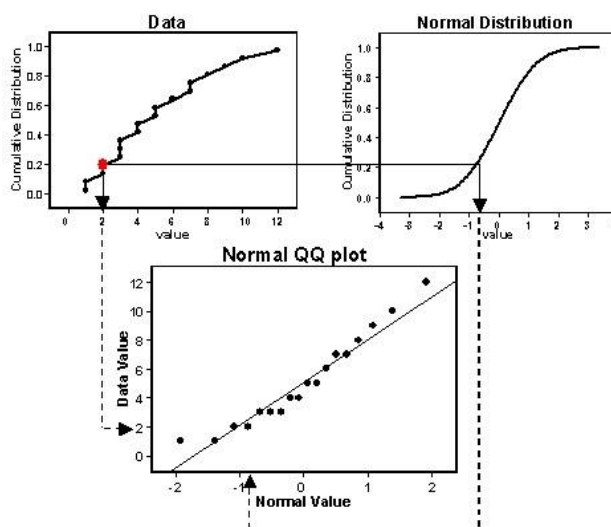
21. ábra A 2009. évi Veris 3100-as fajlagos elektromos vezetőképesség adatok hisztogramja

A kiugró értékek vizsgálata azonban geostatistikai megközelítést kíván, mivel a leíró statisztika a térbeli sajátosságokat (térben kiugró adatok) nem tudja megfelelően figyelembe venni.

Geostatistikai analízis: A hisztogram vizsgálatokor a statisztikai analízis bekapcsolásával megjelennek a fontosabb statisztikai leíró adatok. Medián: az adatokat

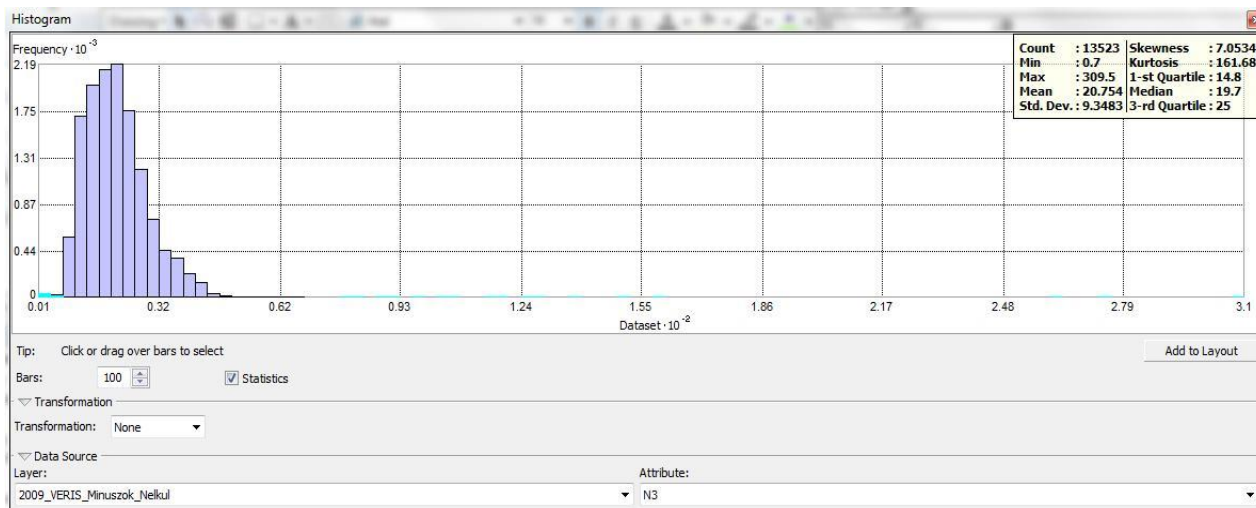
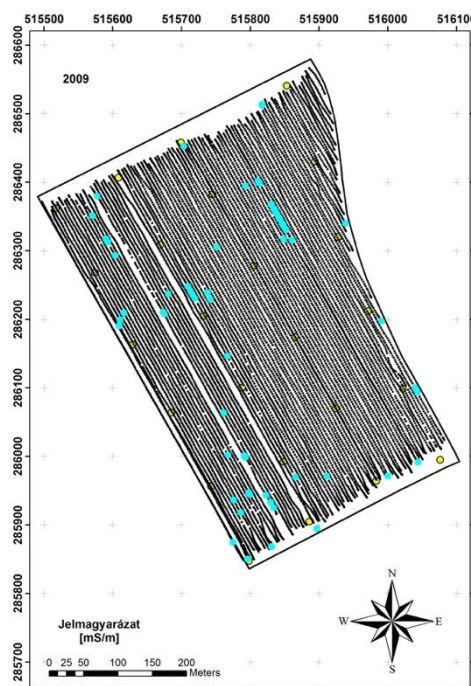
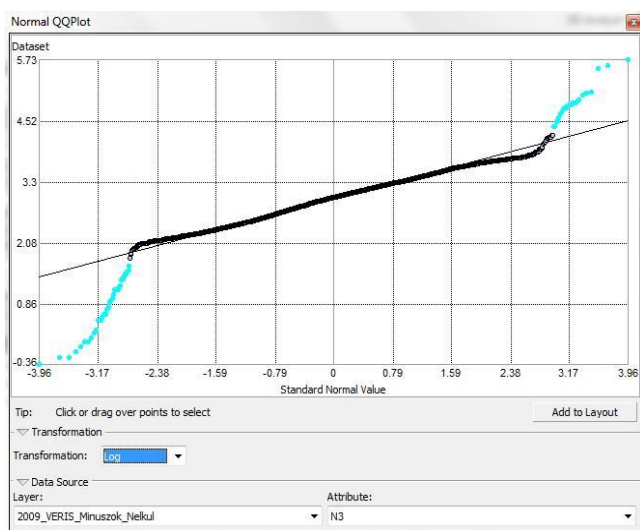
megfelezi, a kvartilis az adatokat negyedeli, a decilis az adatokat tizedeli, a percentilis az adatokat századolja. A kvantilis az adatokat tetszőleges részre bontja.

A Normál QQ plot az adathalmazt kvantilis értékei alapján a normáloszlás kvantilis értékeihez viszonyítja (22. *ábra*).



22. *ábra* A normál QQ plot értelmezése

A teljes adatbázis nem mutatott normál eloszlást, valamint mérési hibákból adódóan nulla és negatív értékeket is tartalmazott. A mérési hibák egyértelműek (0 és negatív értékek), ezek szűrése akár hagyományos úton is elvégezhető. A negatív és a nulla értékek eltávolítása után az adatállomány még mindig tartalmaz kiugró értékeket. A kiugró adatok eltávolítását a normál QQPlot geostatistikai elemző modul segítségével végeztük el. A normál QQPlot transzformációs eljárását – mivel az adatok log-normális eloszlást mutatnak – logaritmikus helyzetbe állítottuk. Ekkor a normál QQPlot ábra segítségével könnyen elvégezhető a kiugró értékek kijelölése (23. *ábra*), amely egyidőben a hisztogramon és a térképen is megjeleníti a kijelölt adatokat, ezek az adatsor leválogatni kívánt kiugró értékei.



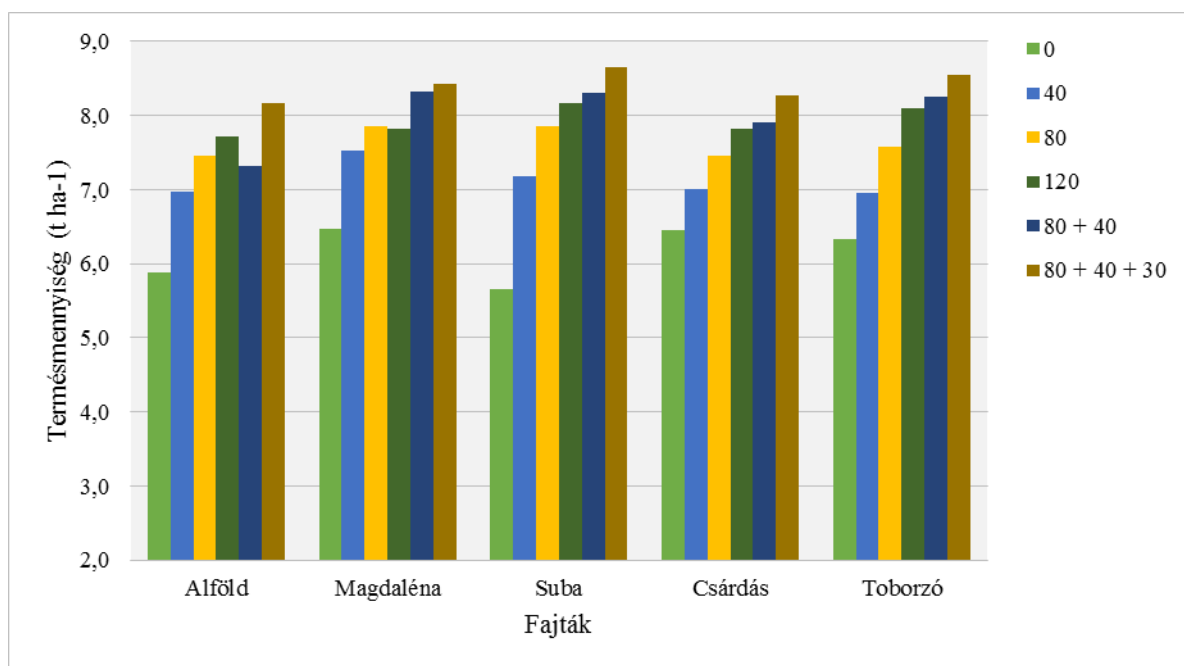
23. ábra A normál QQ plot, a hisztogram és a térkép közötti kapcsolat

Az adatsorokból a kiugró értékeket a Biometria könyv (Baráth et al., 1996) 57. oldalán ismertetett eljárással távolítottuk el. Az ArcView programmal meghatároztuk az első és harmadik kvartiliseket (Q1, Q3) a hisztogramon, a kettő különbsége az interkvartilis távolság. Kiugró értéken az adatsor olyan értékeit értjük, amely az adatsor többi értékéhez viszonyítva túl nagy, vagy túl kicsi. Felismeréséhez az első kvartilis értékéből kivontuk, illetve a harmadik kvartilis értékéhez hozzáadtuk a másfélszeres interkvartilis távolságot (IQR). Kiugró értékeknek tekintettük, ha a mért érték az Xmin alatt, illetve az Xmax fölött volt. Az Xmin és Xmax értékek között kapott intervallumot fogadtuk el. Ezzel az eljárással kiugró értékektől mentes adatsorokat kaptunk.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Őszi búza fajta-összehasonlító N-fejtrágyázási tartamkísérlet eredményei

4.1.1. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2008)



24. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagyombos, 2008

A **24. ábrán** a 2008. év termései láthatók az alkalmazott öt őszi búza fajta, és a kijuttatott N-dózisok függvényében. Ebben az évben a fejtrágyaként kijuttatott 0 kg N-műtrágya esetében a legalacsonyabb hozamot a Suba fajtánál mértük, a legmagasabbat pedig a Magdalénánál. A legnagyobb termésnövekedést a kontrollhoz képest az egyszeri 40 kg N hatóanyag-kijuttatásnál tapasztaltuk. A legmagasabb hozamot minden egyes fajtánál a három adagban kijuttatott N esetben mértük, mivel ennél az adagnál a termés minden esetben meghaladta a 8 t ha^{-1} átlagot. A legmagasabb hozamot a Suba fajtánál mértük, ami azért érdekes, mert a kontrollnál a legalacsonyabb termésátlagot adta. Ez is mutatja, hogy olyan intenzívebb fajtáról van szó, melynek hangsúlyos a kijuttatott tápanyagra adott válasza. Az ábrán az is jól látszik, hogy az egyes nitrogén-dózisokra a fajták növekvő terméssel válaszoltak. Ettől a tendenciától két esetben találtunk eltérést: 1. az Alföld fajta esetében az egyszeri 120 kg dózis által elért termés magasabb lett a megosztott 80+40 kg mennyiségnél, melynek az oka kijuttatási hiba lehetett; 2. a Magdaléna esetében a 80 és a 120 kg kijuttatott hatóanyag között nem volt különbség, sőt a 120 kg N-nél kissé csökkent a hozam (**4. táblázat**).

4. táblázat A 2008-as év összesítő táblázata

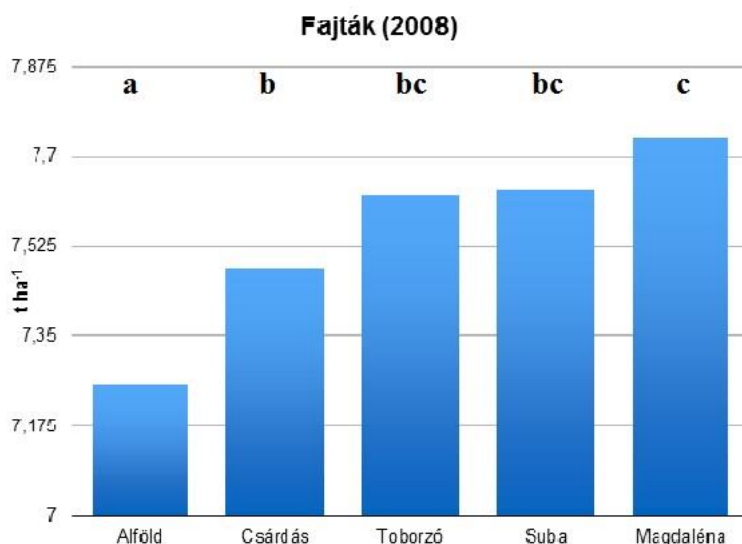
Fajta	Termésátlag t ha ⁻¹					
	0	40	80	120	80+40	80+40+30
Alföld	5,875	6,975	7,450	7,725	7,325	8,175
Magdaléna	6,475	7,525	7,850	7,825	8,325	8,425
Suba	5,560	7,175	7,850	8,175	8,300	8,650
Csárdás	6,460	7,000	7,450	7,825	7,900	8,275
Toborzó	6,325	6,950	7,575	8,100	8,250	8,550

SzD5% Fajta=0,1727 t ha⁻¹SzD5% Nitrogén=0,2468 t ha⁻¹

5. táblázat A 2008. év varianciaanalízisének eredményei

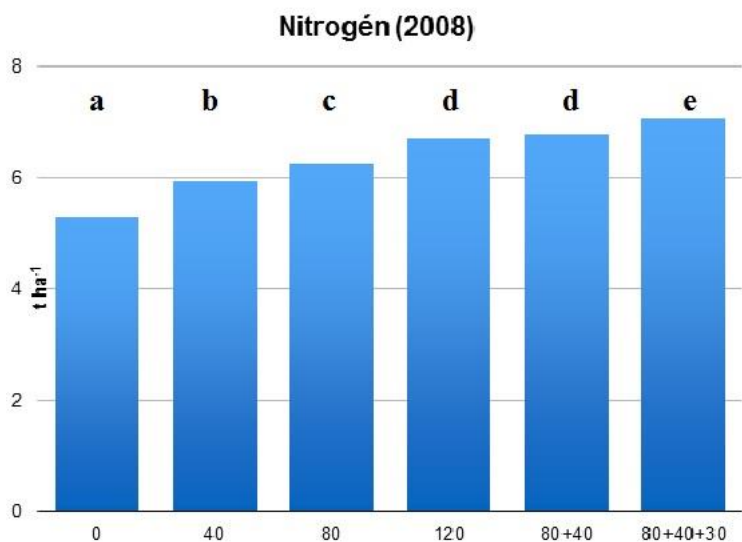
Variáció forrása	Szabadság-fok	SS	MS	Számított F-érték	Táblázati F-érték	
					5%	1%
Ismétlés	3	0,2193	0,0731			
Fajta (A)	4	3,3512	0,8378	11,11***	3,26	5,41
Hiba (A)	12	0,9048	0,0754			
Tápanyag (B)	5	64,9467	12,9893	84,6***	2,31	3,21
A x B	20	4,5408	0,2270	1,48 ^{ns}	1,68	2,07
Hiba (B)	75	11,5158	0,1535			
Összes	119	85,4787				

A kapott eredmények statisztikai elemzése (5. táblázat), a Duncan-teszt elvégzése után három fajta esetében tapasztaltunk szignifikáns differenciát (Alföld, Csárdás, Magdaléna), de a Suba és a Toborzó fajták termése sem egymáséitól, sem a Csárdás és a Magdaléna hozamadataitól sem különböztek (25. ábra).



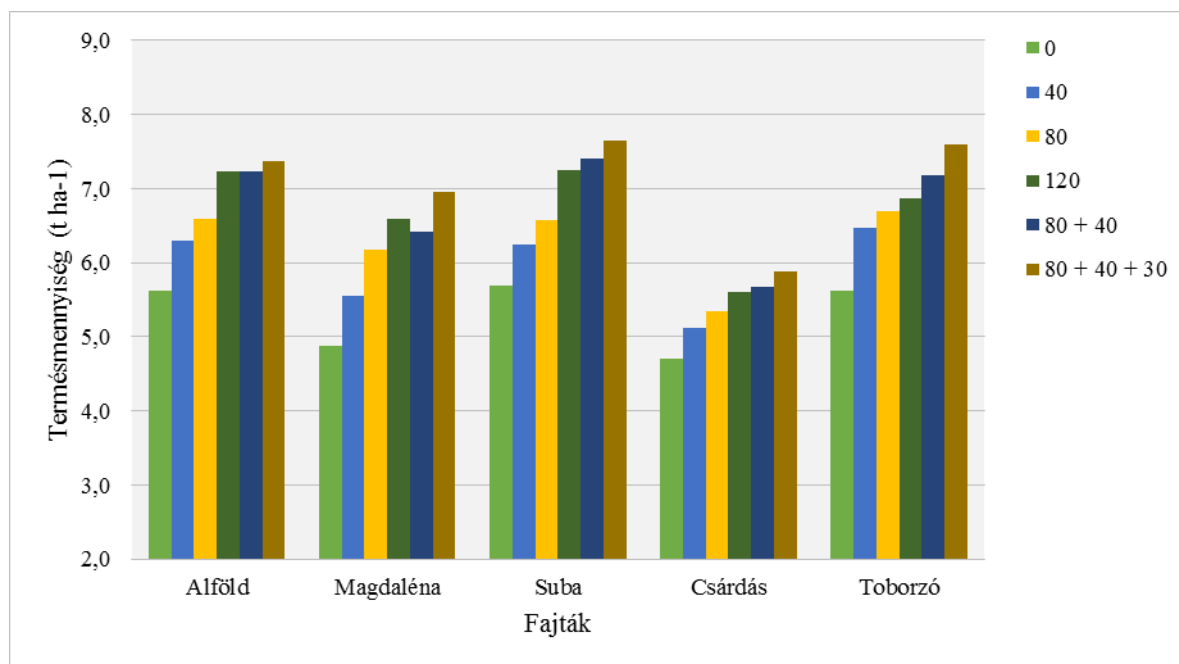
25. ábra A fajták összehasonlítása, 2008 (Duncan-teszt)

A 26. ábrán a különböző N-adagok összehasonlítása látható, a vizsgálatban minden N-szint között szignifikáns differenciát állapítottunk meg. Kivételt csak az egyben kijuttatott 120 kg N és a megosztott 80+40 kg N-adagnál találtunk, a két dózis terméseredményei között nem volt szignifikáns a differencia. Ebből megállapítható, hogy ebben az évben a 120 kg N esetében a dózis megosztása nem eredményezett szignifikáns terménynövekedést.



26. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2008 (Duncan-teszt)

4.1.2. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2009)



27. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagyombos, 2009

A 27. ábra a 2009. év őszi búza hozamait mutatja a kijuttatott nitrogénadagok viszonylatában. Ebben az évben a legalacsonyabb termésátlagokat a Csárdás fajta produkálta minden N-szinten. Termése a kontroll esetében meghaladta a $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ -t, de egyik műtrágya szinten sem mutatott szignifikáns terméskülönbséget. A legmagasabb termésátlagot 2009-ben is a Suba fajta érte el a $80+40+30 \text{ kg N}$ -szint esetében. Az ábrán megfigyelhető, hogy ebben az évben is – két kivételtől eltekintve – a kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyiségének növelésével az elért terméseredmények növekedtek. Két kivételt 2009-ben is az Alföld és a Magdaléna fajták produkáltak: 1. az Alföld fajta esetében az egy dózisú 120 kg és a megosztott $80+40 \text{ kg N}$ által elért termés között nem tapasztaltunk jelentős különbséget; 2. a Magdaléna fajtánál a megosztott kétadagú 120 kg dózis esetében a hozam kevesebb lett, mint az egyadagú kiszórásnál (6. táblázat). A 2009. év kéttényezős varianciális elemzésének statisztikai elemzését a 7. táblázat szemlélteti.

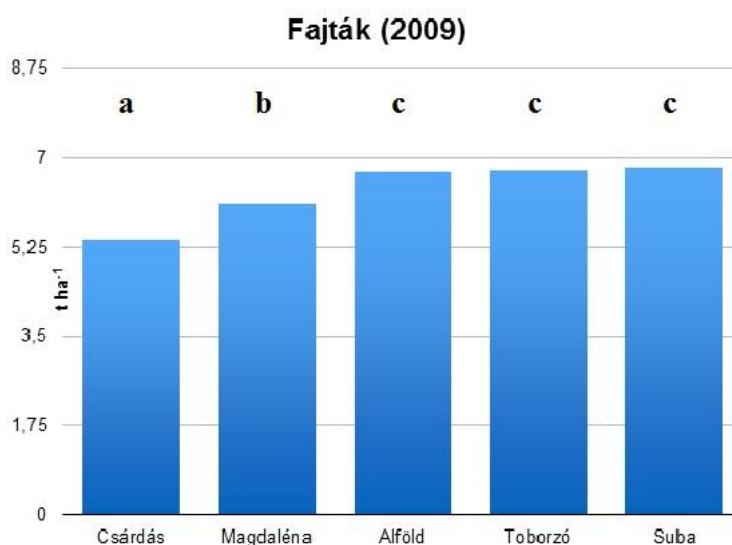
6. táblázat A 2009. év termés-összesítő táblázata

Fajta	Termésátlag t ha ⁻¹					
	0	40	80	120	80+40	80+40+30
Alföld	5,625	6,300	6,600	7,225	7,225	7,375
Magdaléna	4,875	5,550	6,175	6,600	6,425	6,950
Suba	5,700	6,250	6,575	7,250	7,400	7,650
Csárdás	4,700	5,125	5,350	5,600	5,675	5,875
Toborzó	5,625	6,475	6,700	6,875	7,175	7,600

SzD5% Fajta=0,1775 t ha⁻¹SzD5% Nitrogén=0,1498 t ha⁻¹SzD5% Fajta x Nitrogén=0,3456 t ha⁻¹

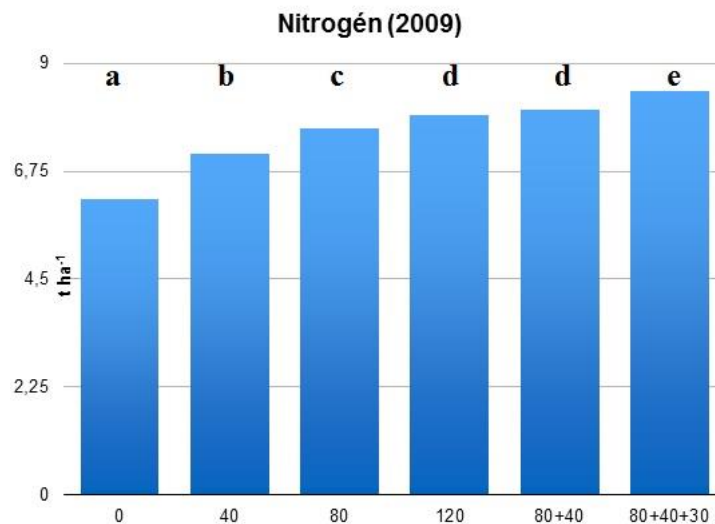
7. táblázat A 2009. év varianciaanalízisének eredményei

Variáció forrása	Szabadság- fok	SS	MS	Számított F-érték	Táblázati F-érték	
					5%	1%
Ismétlés	3	0,71758	0,23919			
Fajta (A)	4	35,79117	8,94779	112,3***	3,26	5,41
Hiba (A)	12	0,95617	0,07968			
Tápanyag (B)	5	45,54242	8,50848	150,55***	2,31	3,21
A x B	20	2,39383	0,11969	2,12*	1,68	2,07
Hiba (B)	75	4,23875	0,05652			
Összes	119	86,63992				



28. ábra A fajták összehasonlítása, 2009 (Duncan-teszt)

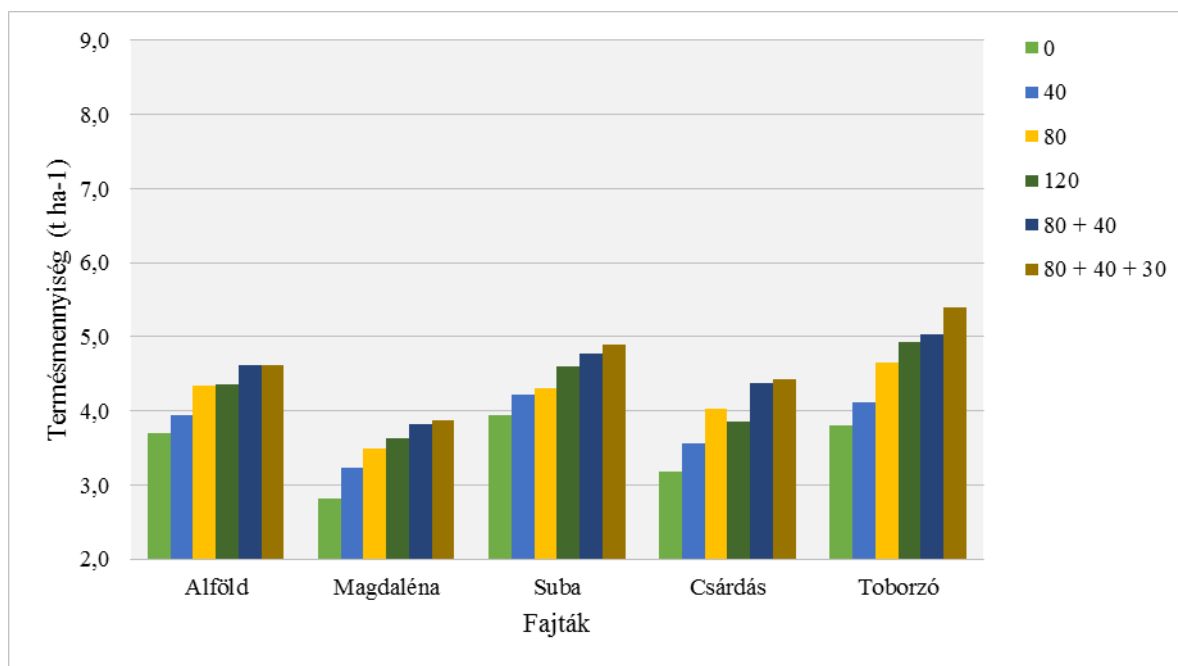
A **28. ábrán** a fajtákra elvégzett Duncan-teszt eredményei láthatók. A vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy szignifikáns differencia található a Csárdás és a Magdaléna fajták, valamint e két búza és a másik három fajta (Alföld, Toborzó, Suba) termése között. Az Alföld, a Toborzó és a Suba termésadatai között a teszt nem mutatott ki szignifikáns különbséget.



29. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2009 (Duncan-teszt)

A **29. ábra** az eltérő nitrogénadagok közötti különbségeket mutatja, melyeket ugyancsak Duncan-tesztben hasonlítottunk össze. A teszt eredménye megegyezik az előző évi vizsgálat eredményével, mivel minden egyes kijuttatott műtrágya adagnál szignifikáns differencia állapítható meg. Kivételt 2009-ben is a megosztott és az egyösszegű 120 kg N-szint jelentett, mivel itt nem mutattunk ki szignifikáns különbséget.

4.1.3. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2010)



30. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagygyombos, 2010

A 2010. év terméseredményeit a **30. ábra** szemlélteti. Ebben az évben a termésátlagok minden N-szinten alacsonyabbak lettek, mint az előző két évben. Ennek oka valószínűsíthetően a vegetációs időszakban lehullott extrém magas csapadékmennyiség, ami depresszív hatással volt az őszi búza fejlődésére. A kijuttatott tápanyag kimosódása miatt pedig a növekvő N-adagok sem eredményeztek jelentős termésnövekedést. Ebben az évben a legkisebb szemtermést minden műtrágya szinten a Magdaléna adta, amelyet mint a vizsgált búzák leghosszabb tenyészidejű fajtáját valószínűsíthetően lassúbb tápanyagfelvétel jellemez, mint a többi búzát. A legtöbb hozamot 2010-ben a Toborzó érte el, amelynek N-felvételi maximuma extra korai érésű fajtaként 8-10 nappal korábban – vagyis a N-kimosódás korábbi stádiumában, feltételezhetően kedvezőbb talaj N-ellátottságnál – következett be. Általánosságban elmondható, hogy a fajták ebben az évben is növekvő terméssel reagáltak a megnövelt N-adagra. Ez alól kivételek voltak: 1. az Alföld esetében a 80 és a 120 kg N-szint között, valamint a 80+40 és a 80+40+30 kg szintek között sem látható jelentős terméskülönbség; 2. a Magdalénánál és a Csárdásnál a 80+40 és a 80+40+30 kg N-szintek között ugyancsak nem található terméseltérés; 3. a Csárdás esetében a 120 kg N-dózis alacsonyabb termést eredményezett, mint a 80 kg-os adag. Az ábrán az is jól látható, hogy ilyen extrém csapadékos évben az egyösszegű 120 kg N terméseit minden esetben meghaladták ennek a mennyiségnek az osztott adagú hozamai (**8. táblázat**).

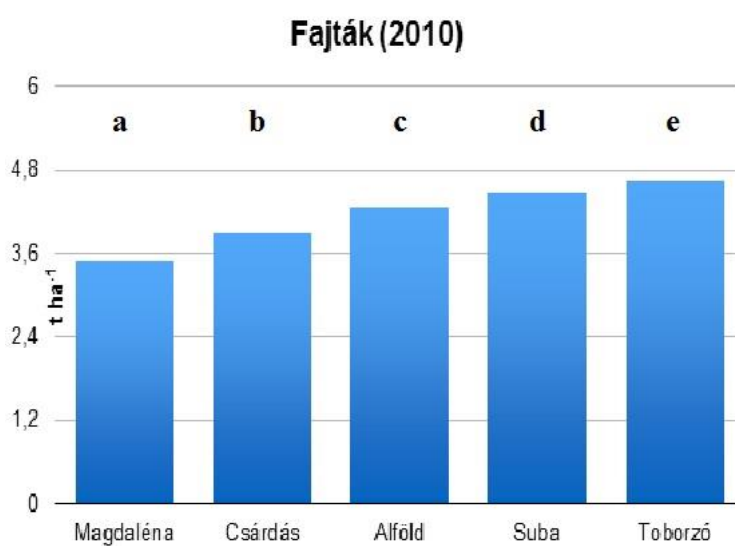
8. táblázat A 2010. év termés-összesítő táblázata

Fajta	Termésátlag t ha ⁻¹					
	0	40	80	120	80+40	80+40+30
Alföld	3,725	3,950	4,350	4,350	4,625	4,625
Magdaléna	2,825	3,250	3,500	3,650	3,825	3,875
Suba	3,950	4,225	4,325	4,600	4,775	4,900
Csárdás	3,175	3,550	4,025	3,850	4,375	4,425
Toborzó	3,800	4,125	4,650	4,925	5,050	5,400

SzD5% Fajta=0,1856 t ha⁻¹SzD5% Nitrogén=0,1534 t ha⁻¹

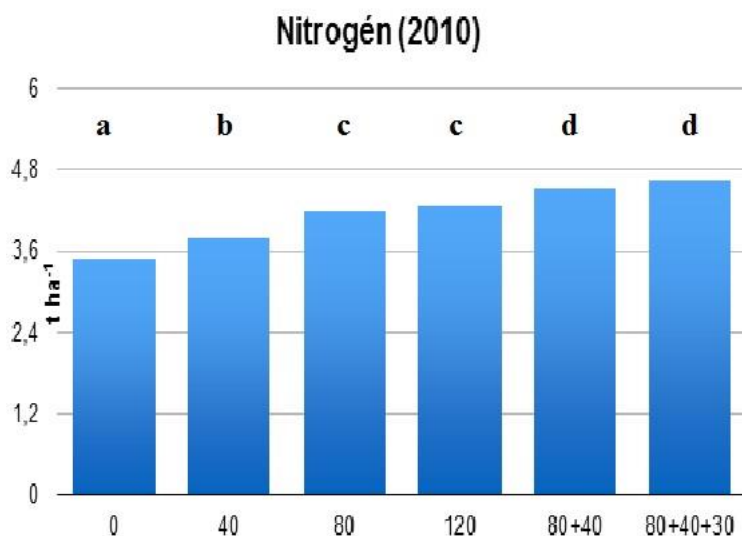
9. táblázat A 2010. év varianciaanalízisének eredményei

Variáció forrása	Szabadság-fok	SS	MS	Számított F-érték	Táblázati F-érték	
					5%	1%
Ismétlés	3	0,04092	0,01364			
Fajta (A)	4	20,92550	5,23137	60,1***	3,26	5,41
Hiba (A)	12	1,04450	0,08704			
Tápanyag (B)	5	18,86342	3,77268	63,93***	2,31	3,21
A x B	20	1,37450	0,06872	1,16 ^{ns}	1,68	2,07
Hiba (B)	75	4,44708	0,05929			
Összes	119	46,69592				



31. ábra A fajták összehasonlítása, 2010 (Duncan-teszt)

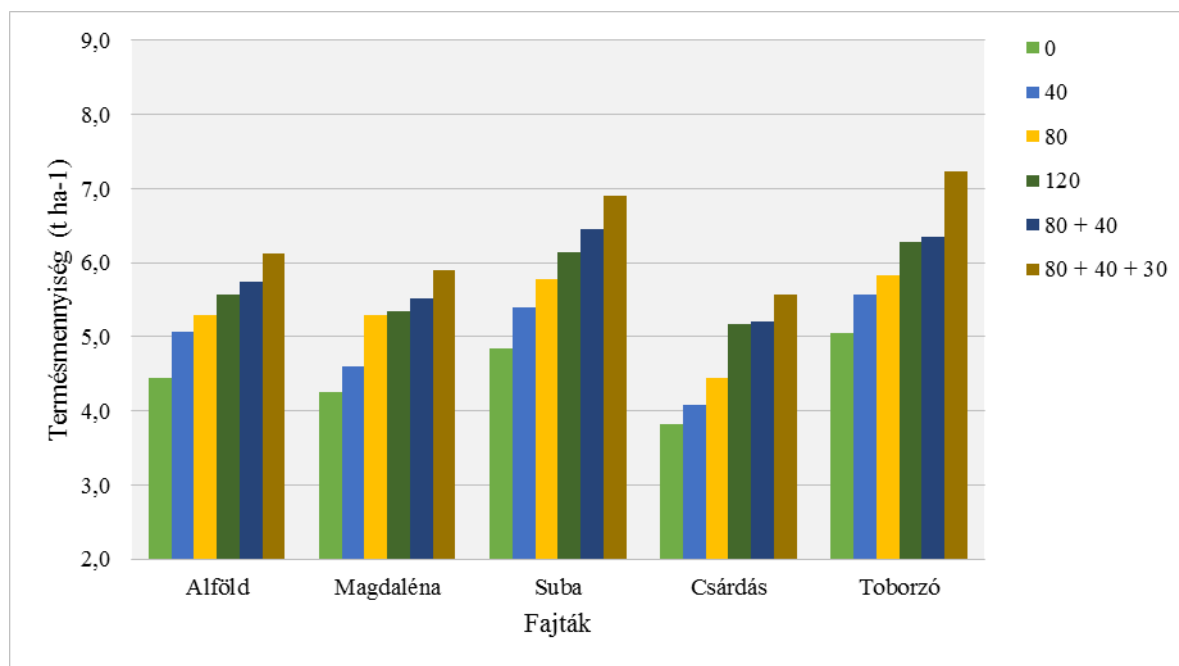
A 2010. év varianciánálízisének statisztikai elemzését a **9. táblázat**, a fajták Duncan-tesztben történő összehasonlítását a **31. ábra** szemlélteti. Jól kivehető a teszt eredményiből, hogy a 2010. évben minden fajta termése között szignifikáns differencia volt



32. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2010 (Duncan-teszt)

A kijuttatott N-mennyiségek összehasonlítását a **32. ábra** mutatja. A teszt szignifikáns különbséget mutatott ki a 0, a 40, a 80 és 120, valamint a 80+40 és 80+40+30 kg kezelések között. Nem volt statisztikailag igazolható a különbség viszont a 80 és 120 kg, valamint a 80+40 és a 80+40+30 kg N-dózisok esetében.

4.1.4. A kisparcellás tartamkísérlet eredményei (2011)



33. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagyombos, 2011

A **33. ábrán** a 2011. év terméseredményei láthatók. Ebben az évben a legalacsonyabb terméseket a Csárdás fajta produkálta minden egyes N-szinten. A legmagasabb hozamokat a Suba és a Toborzó fajtáknál mértük, ahol is ez utóbbi egy eset kivételével (80+40 kg N) minden műtrágya dózisonál meghaladta előbbi termésadatait. Általánosságban elmondható, hogy a vegetációs időszakban a fajták a növekvő tápanyagra minden esetben növekvő hozamokkal reagáltak. Egyedül a Magdalénánál látható kismértékű növekedés a 80 és a 120 kg N-adag között. A 120 kg N megosztása – a Suba kivételével – nem okozott jelentősebb termésnövekedést (**10-11. táblázat**).

10. táblázat A 2011. év termésösszesítő táblázata

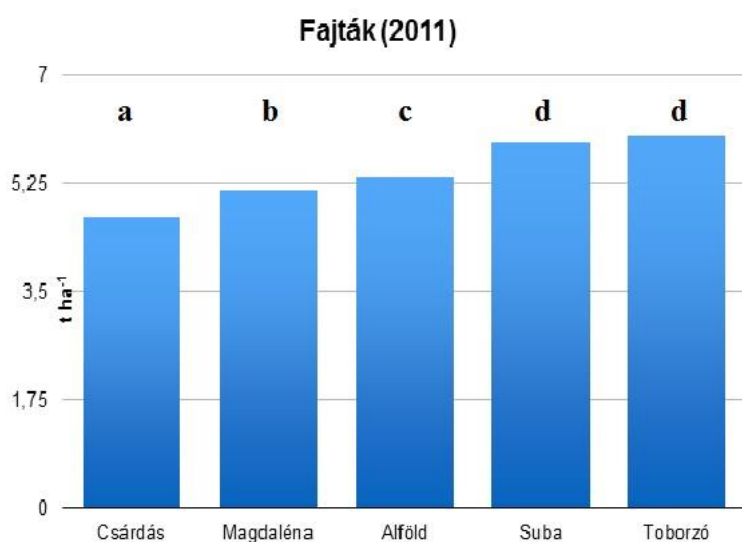
Fajta	Termésátlag t ha ⁻¹					
	0	40	80	120	80+40	80+40+30
Alföld	4,450	5,075	5,300	5,575	5,750	6,125
Magdaléna	4,250	4,600	5,300	5,350	5,525	5,900
Suba	4,850	5,400	5,775	6,150	6,450	6,900
Csárdás	3,825	4,075	4,450	5,175	5,200	5,575
Toborzó	5,050	5,575	5,825	6,275	6,350	7,225

SzD5% Fajta=0,1920 t ha⁻¹

SzD5% Nitrogén=0,1645 t ha⁻¹

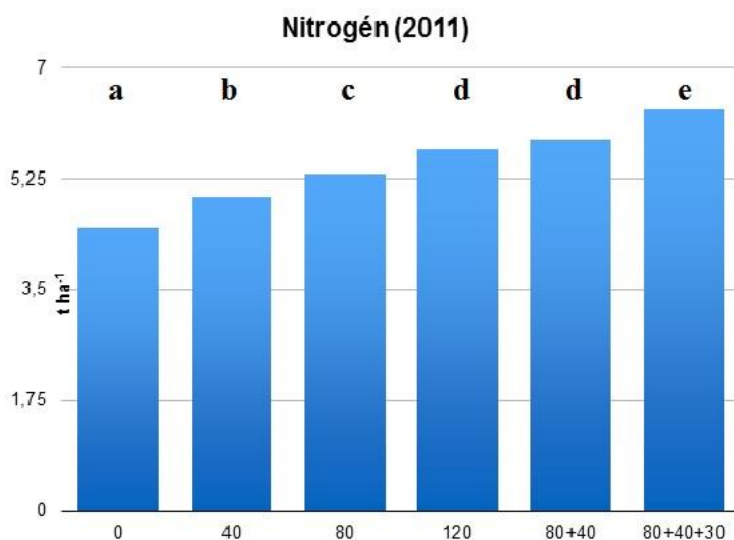
11. táblázat A 2011. év varianciaanalízisének eredményei

Variáció forrása	Szabadság-fok	SS	MS	Számított F-érték	Táblázati F-érték	
					5%	1%
Ismétlés	3	0,20225	0,06742			
Fajta (A)	4	29,08383	7,27096	78,03***	3,26	5,41
Hiba (A)	12	1,11817	0,09318			
Tápanyag (B)	5	44,61042	8,92208	130,77***	2,31	3,21
A x B	20	1,62417	0,08121	1,19 ^{ns}	1,68	2,07
Hiba (B)	75	5,11708	0,06823			
Összes	119	81,75592				



34. ábra A fajták összehasonlítása, 2011 (Duncan-teszt)

A fajták összehasonlító vizsgálata a **34. ábrán** látható. A Duncan-teszt szignifikáns különbséget állapított meg a Csárdás, a Magdaléna, az Alföld, valamint az előbbieket és a Suba-Toborzó fajtapáros között. Szignifikáns különbséget nem tárt fel viszont a Suba és a Toborzó termése között.



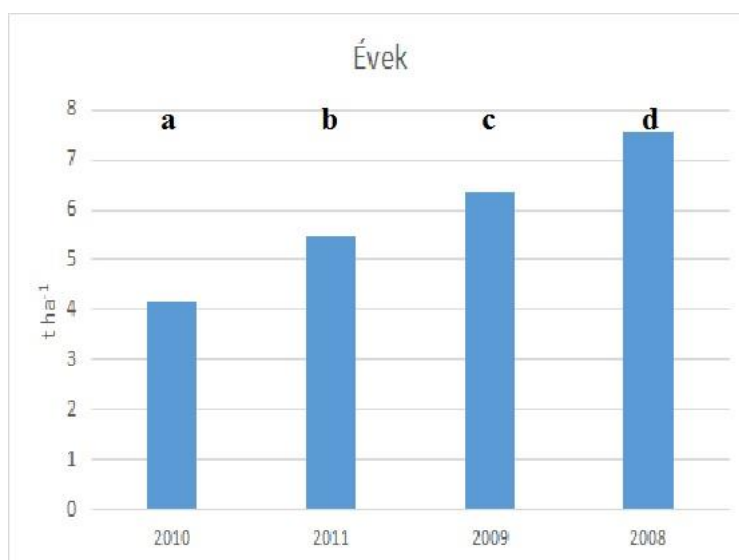
35. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2011 (Duncan-teszt)

A **35. ábra** az egyes N-kezelések összehasonlítását tartalmazza. A Duncan-teszt a kísérlet első két évével (2008-2009) megegyező eredményt mutatott. A vizsgálat nem igazolt kimutatható szignifikáns különbséget az egydózisú és a megosztott 120 kg N-adagok között, ettől eltekintve viszont minden tápanyag-szinten szignifikáns differenciát állapított meg.

4.1.5. Különböző évjáratok hatásainak összehasonlítása

12. táblázat A vizsgált 4 év kombinált varianciaanalízise (2008-2011)

Variáció forrása	Szabadság-fok	SS	MS	Számított F-érték	Táblázati F-érték	
					5%	1%
Ismétlés	3	0,19673	0,06558			
Fajta (A)	4	56,05596	14,01399	125,26***	3,26	5,41
Hiba (A)	12	1,34254	0,11188			
Tápanyag (B)	5	161,71669	32,34334	357,18***	2,31	3,21
A x B	20	2,86404	0,14320	1,58 ^{ns}	1,68	2,07
Hiba (B)	75	6,79135	0,09055			
Év (C)	3	739,44440	246,48147	2998,85***	2,61	3,78
A x C	12	33,09571	2,75798	33,56***	1,84	2,32
B x C	15	9,24623	0,61642	7,5***	1,68	2,04
A x B x C	60	7,06929	0,11782	1,43*	1,36	1,53
Hiba	270	22,19187	0,08219			
Összes	479	1040,01481				



36. ábra A kísérlet éveinek összegzett termése (2008-2011)

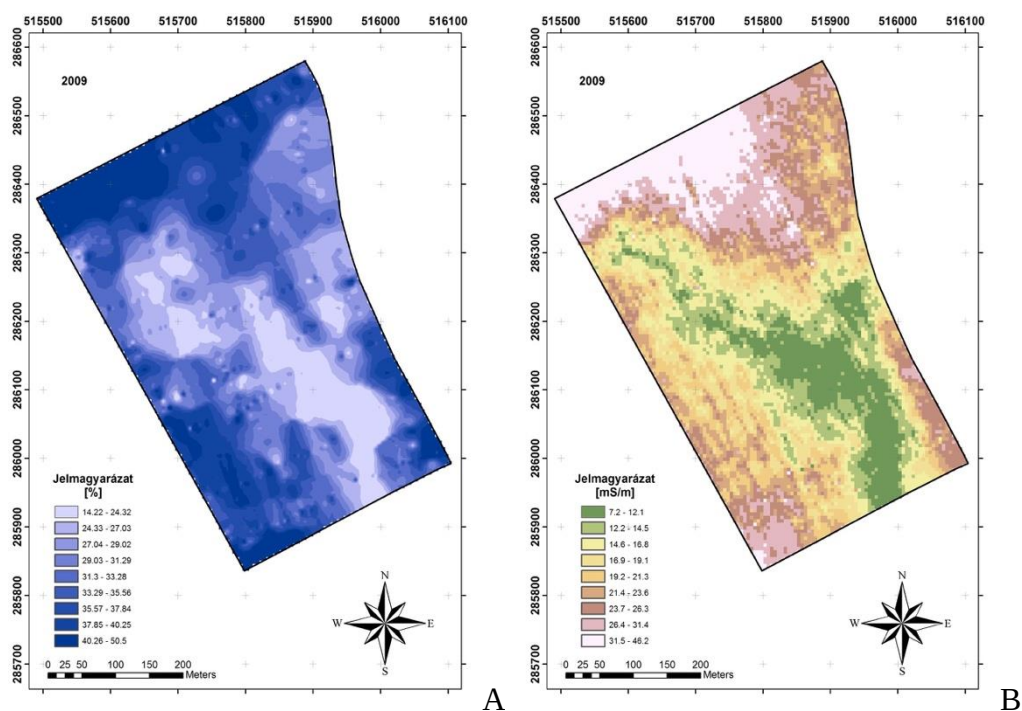
A 36. ábra az egyes évjáratok termésátlagainak utóvizsgálatát (Duncan-teszt) mutatja. A teszt eredményeként megállapítható, hogy a kísérlet négy évében minden esztendő hozama

szignifikánsan eltért a többi vizsgálati év terméseredményeitől. Tehát minden általunk vizsgált év termése között szignifikáns volt az eltérés. Az ábrán jól látható, hogy a legmagasabb hozamokat a kísérlet első éve (2008) eredményezte. Ebben az évben majdnem 700 mm csapadék hullott, de a kiemelkedő hozamok vélhetően a fejtrágyázás időszakának kiegyenlített csapadék-utánpótlásának köszönhetőek. A március-április-május időszakban lehullott csapadék mennyisége és eloszlása is kedvezően hatott a tápanyag-felvételre és hasznosulásra. A második legmagasabb termésadatokat 2009. év adta annak ellenére, hogy ebben az esztendőben hullott a vizsgált időszakban a legkevesebb (480 mm) csapadék. A csapadék eloszlása viszont ennél az évnél volt a legegyszerűsebb. Az április csapadékszegény volt, de a folyamatos téli nedvességutánpótlás és a csapadékos március és május hozzájárult a tápanyag hasznosulásához. A harmadik legmagasabb hozamok a 2011. évjáratból kerültek ki. Annak ellenére, hogy az időszakban majdnem 670 mm csapadék hullott a kísérleti területen, a csapadékhiányos téli hónapok (január-február), valamint az április gátolták a kijuttatott fejtrágyák felvételét, így a növények optimális fejlődését. A 2010. extrém csapadékos évben a hozamok alacsony szinten maradtak, és a magasabb dózisoknál sem eredményeztek kiemelt termésnövekedést. Ennek valószínűsíthetően a tápanyag kimosódása volt az oka.

4.2. A talaj nedvességtartalmának és fajlagos elektromos vezetőképességének összehasonlító vizsgálata

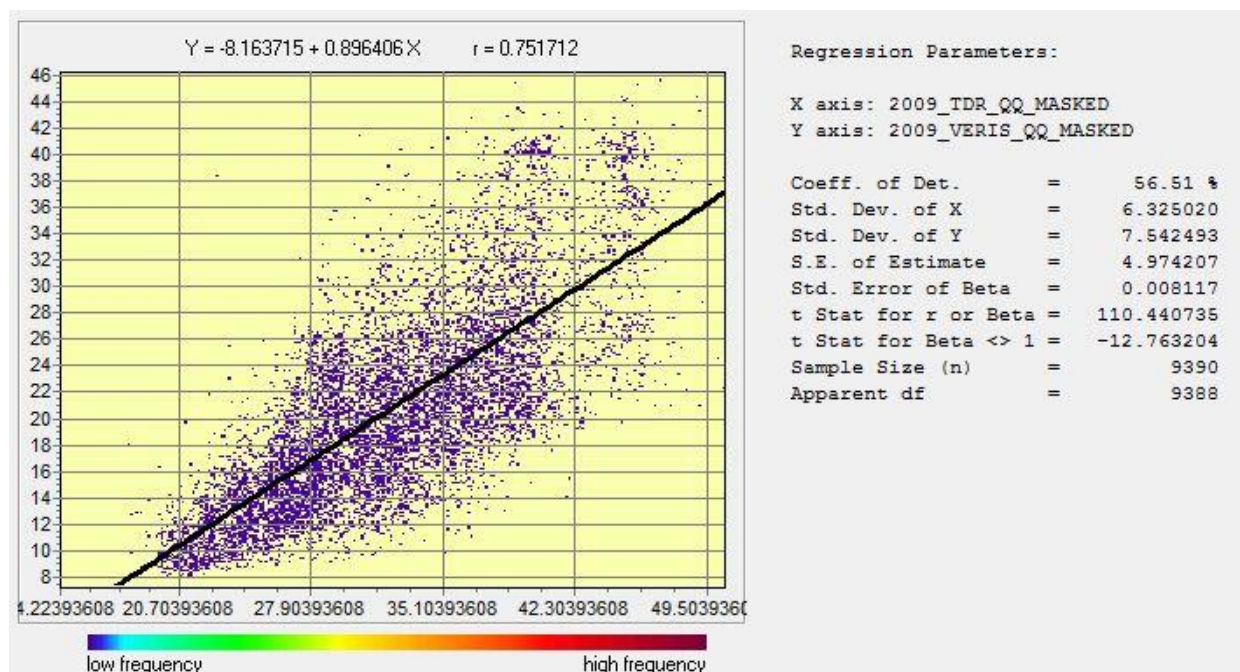
4.2.1. A 2009. vizsgálati év eredményei

A 2009. évi mérések eredményeként 24 db gravimetrikus, 1364 db volumetrikus talajnedvesség adatot, valamint 13531 db fajlagos elektromos vezetőképesség adatot kaptunk. A térképek készítésénél csak a nagy mintaszámmal rendelkező, reprezentatívabb méréstípusokkal (TDR-300, Veris 3100) dolgoztunk, mivel ezek adatmennyisége felelt csak meg a tábla teljes térképezéséhez. A kiugró értékek leválogatása után 1195 db talajnedvesség és 13446 db vezetőképesség adat állt rendelkezésünkre a további feldolgozáshoz. Az adatokat az ArcGIS ArcMap 10.1-es program segítségével feldolgozva készítettük el 2009-ben a terület talajnedvesség (**A**) és fajlagos elektromos vezetőképesség (**B**) térképét (37. ábra).



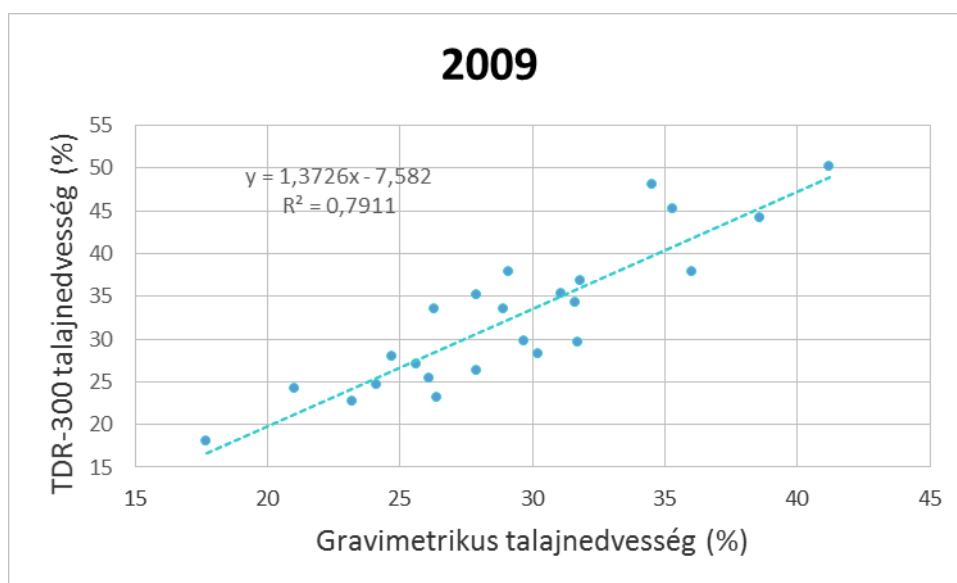
37. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2009)

Az ArcGIS ArcMap program segítségével végzett regresszió-analízis eredményét a 38. ábra mutatja. A vizsgálat során a program 9390 mintapárral dolgozott, az „r” értéke 0,751712 volt, a determinációs koefficiens mértéke pedig 56,51% lett, ami közepes összefüggést jelez. Mivel a fajlagos elektromos vezetőképesség adatokhoz nem minden esetben tudott társítani a program nedvességértéket, ilyen esetekben az interpolált nedvességi adatokkal számolt. Ez okozhatta a magas mintapár-szám gyengébb összefüggési szintjét.



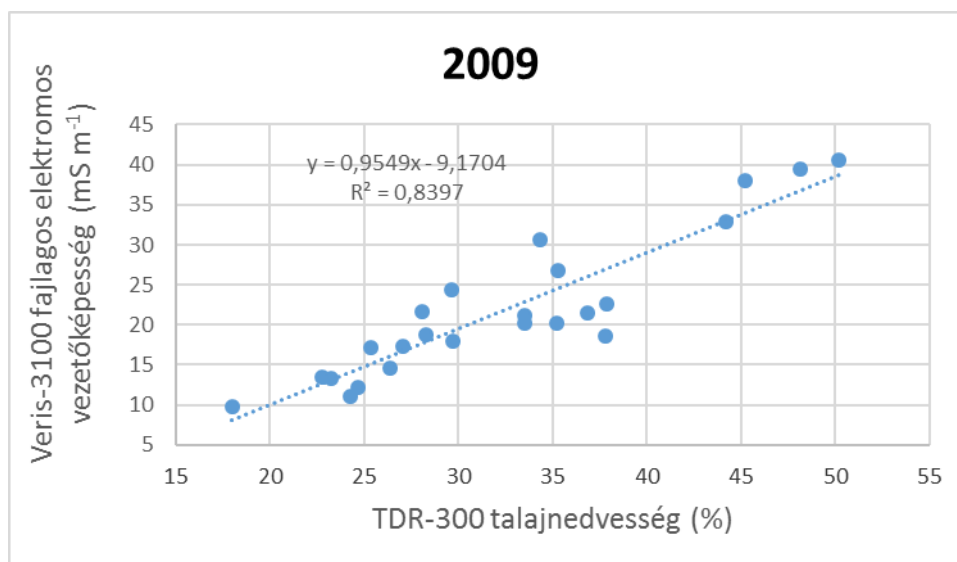
38. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (EC_a) közötti összefüggés (2009)

A 2009-ben feltárt összefüggés bizonyításához a meglévő gravimetrikus talajnedvesség-mérés eredményeit is felhasználtuk a TDR-300 nedvességmérő mért adatainak ellenőrzésére. A bolygatatlanul vett minták nedvességadatait szárítószekrényes vizsgálatban kaptuk meg, így ezeket pontosnak vettük. Regresszió-analízisben vetettük össze a gravimetrikus és a TDR-300-al mért volumetrikus talajnedvesség adatokat, amelynek eredményeit a 39. ábra mutatja. A vizsgálat végén megállapítottuk, hogy 24 pont esetében az összefüggés a két mérés adatai között szoros, vagyis $R^2=0,7911^*$. Az összefüggés szorossága miatt a TDR-300 vizsgálati eredményeit elfogadtuk, és alkalmasnak ítéltük a talaj fajlagos elektromos vezetőképességével történő összevetésre.



39. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2009)

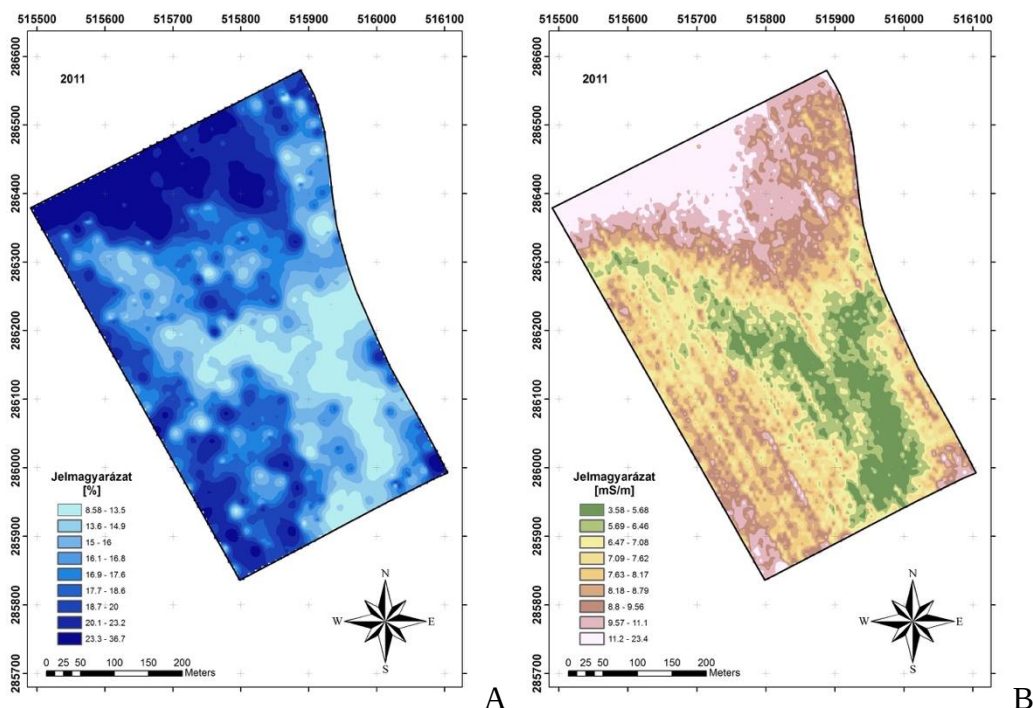
A már említett 24 pontban mért talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok összehasonlítását a **40. ábra** mutatja. A vizsgálat során a két adatsor közötti összefüggést szorosnak találtuk, mivel az R^2 értéke 0,8397* lett. Így a kiemelt 24 pont és a térképi összehasonlítás alapján is elmondható, hogy terepi mérésben a talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok közötti kapcsolat szoros.



40. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2009)

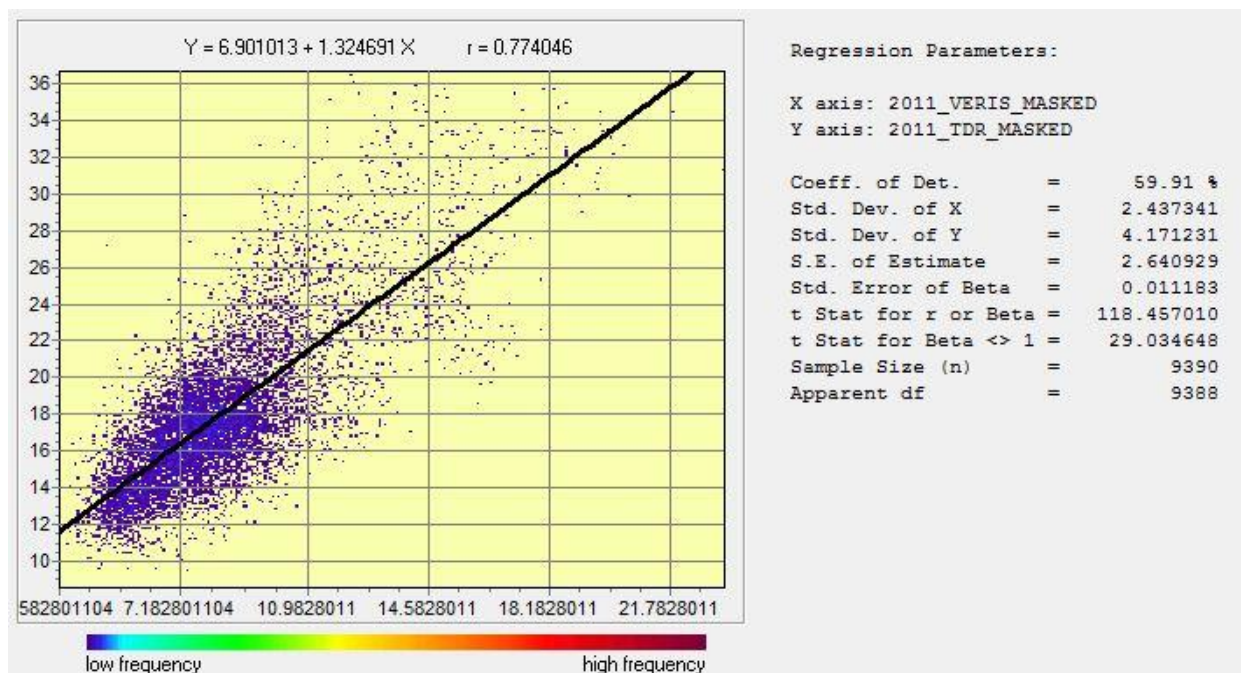
4.2.2. A 2011. vizsgálati év eredményei

A 2011. évi mérések során 11 helyről vettünk bolygatatlan talajmintákat a gravimetrikus nedvesség-meghatározáshoz. Emellett a TDR-300 talajnedvesség-mérő segítségével 649 pontban végeztünk talajnedvesség mérést, valamint a Veris 3100-as műszerrel 15249 pontban térképeztük fel a terület talajának elektromos vezetőképességét. A kiugró értékek leválogatása után 649 db talajnedvesség és – mivel kiugró értéket nem találtunk – 15249 db fajlagos elektromos vezetőképesség adat maradt a térképek elkészítéséhez. A nedvesség- (**A**) és vezetőképesség (**B**) adatok alapján készített térképek a **41. ábrán** láthatók. A két térkép az előző év vizsgálati eredményeihez nagymértékben hasonló mintázatot mutatott ebben az évben is. A tábla közepén ismét felismerhető az a jellegzetes rajzolat, amit a 2009. év térképein egyszer már láttunk. Így továbbra is valószínűsítettük, hogy a talajnedvesség és vezetőképesség adatok között szoros összefüggés van, ezért további statisztikai vizsgálatot végeztünk állításunk igazolására.



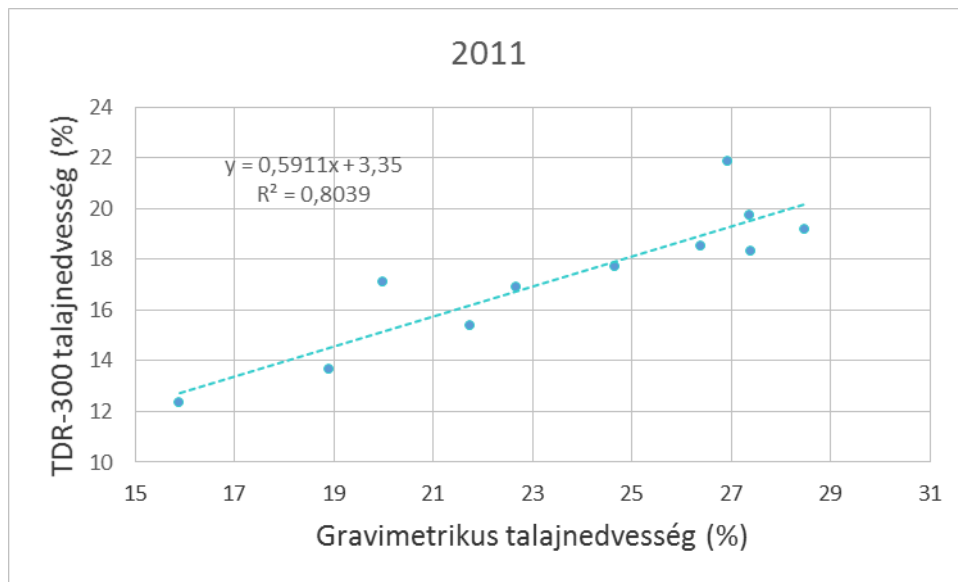
41. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2011)

Az ArcGIS programmal végzett statisztikai elemzést a **42. ábra** mutatja. A program az interpolált értékek alapján az egész területet lefedve adatokkal, 9390 adatpárral dolgozva hasonlította össze a nedvesség és vezetőképesség értékeket. A vizsgálat során $r=0,774046$ értéket kaptunk, a determinációs együttható pedig 59,91% lett, ezért az összefüggés mértékét közepesnek ítéltük. Mivel ez az eredmény az interpoláció által született adatokat is tartalmazza ragaszkodtunk hozzá, hogy ismert pontok összehasonlítását is elvégezzük.

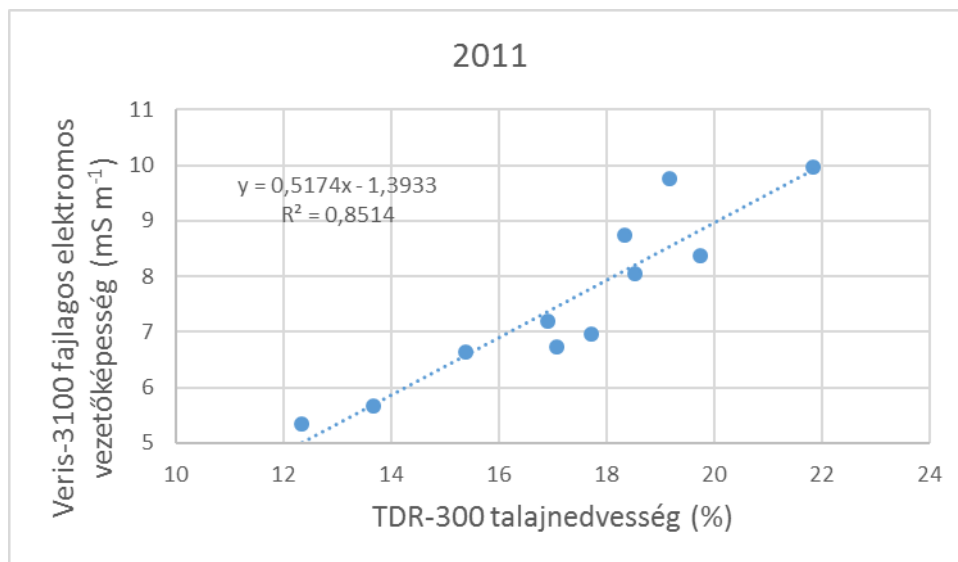


42. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (EC_a) közötti összefüggés (2011)

A 2011-ben vett gravimetrikus talajminták és volumetrikus talajnedvesség adatait a **43. ábra** tartalmazza. A regresszió-analízis során $R^2=0,8039^*$ értéket kaptunk, így ebben az évben is igazoltuk, hogy a TDR-300 mérőműszerrel végzett talajnedvesség vizsgálat terepi körülmények között alkalmas a víztartalom pontos meghatározására.



43. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2011)



44. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2011)

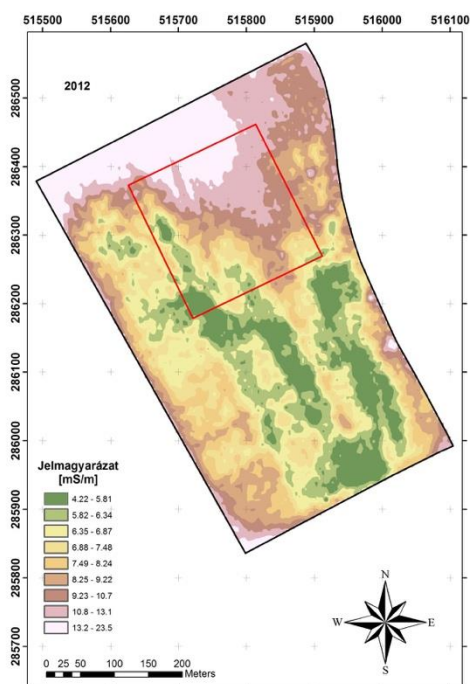
Mivel a TDR-300 adatait továbbra is elfogadhatónak tartottuk, ezért a gravimetrikus mintavételi helyek 11 pontjában mért talajnedvesség adatokat regresszió-analízisben (**44. ábra**) hasonlítottuk össze a pontok fajlagos elektromos vezetőképesség értékeivel. A vizsgálat eredményeként megállapítottuk, hogy a két méréssorozat adatai között az összefüggés szoros,

mivel $R^2=0,8514^*$ értéket kaptunk. Tehát a 2011. évi vizsgálatok alapján elmondható, hogy a felszínközeli talajnedvesség megállapítására nagy biztonsággal alkalmas a talaj elektromos vezetőképességének mérése.

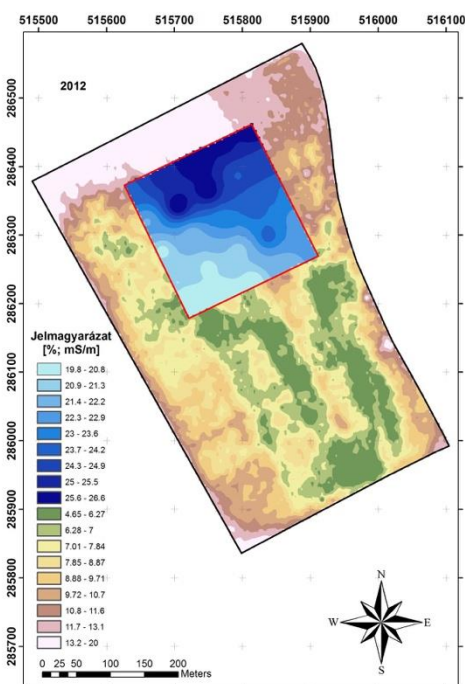
4.2.3. A 2012. vizsgálati év eredményei

A 2012-ben elvégzett mérések eredményeit a **45. ábra** mutatja. Ebben az évben a mérés során 25 gravimetrikus és 255 volumetrikus talajadatunk, valamint 10973 vezetőképesség adatunk született. A kiugró értékek leválogatása után a nedvességadatok száma nem változott, de a vezetőképesség adatok száma 10969-re csökkent.

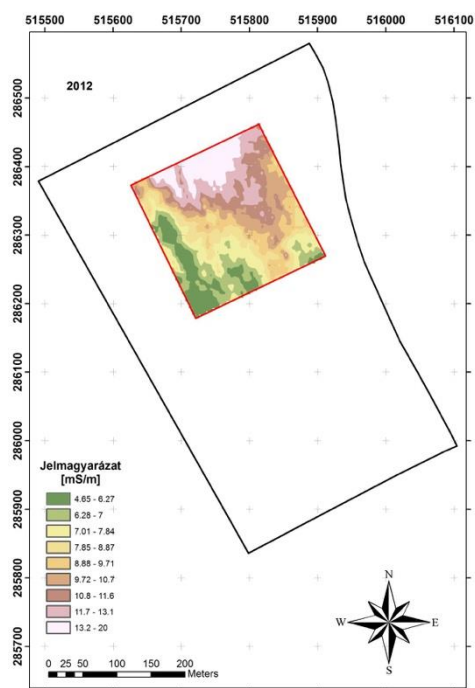
Az **A**-val jelölt ábra a teljes táblát lefedő fajlagos elektromos vezetőképesség adatokból készített térkép, melyen ábrázoltuk a gravimetrikus és volumetrikus talaj-mintavételi terület határvonalát. A **B** jelű ábrán a vezetőképesség adatok térképébe beillesztettük a TDR-300 talajnedvesség meghatározás alapján készített mintaterület térképét. A vezetőképesség térképén jól kivehető az a mintázat, melyet már az előző két mérés során is megfigyelhattünk. A kisebb talajnedvesség térképet ráillesztve látható, hogy a vezetőképességben jelentkező rajzolatot a nedvességadatok mitázata tökéletesen kiegészíti. A **C ábra** a vezetőképesség térképből kivágott területet ábrázolja, amelynek mintavételi helye megegyezik a nedvesség adatainak helyével, a **D ábra** pedig a nedvességtérképet mutatja.



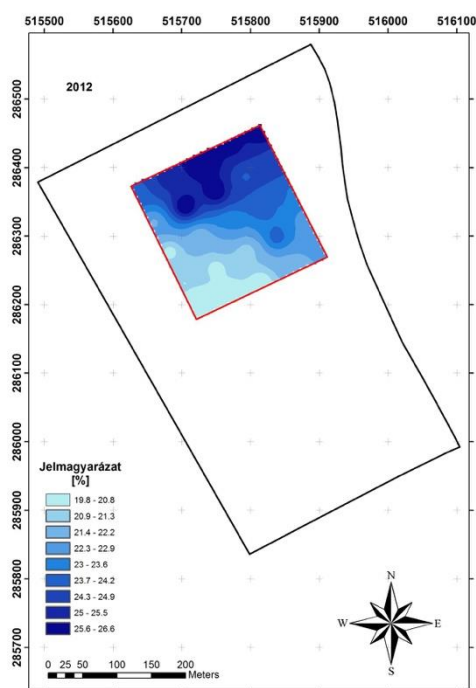
A



B

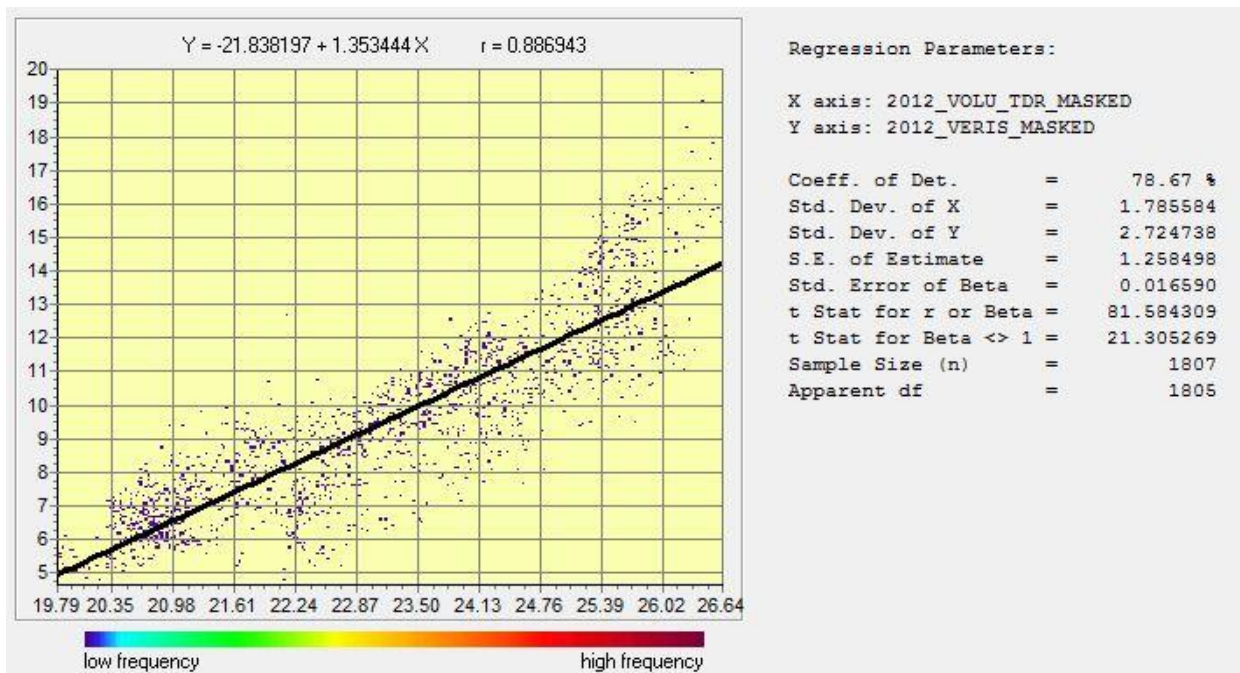


C



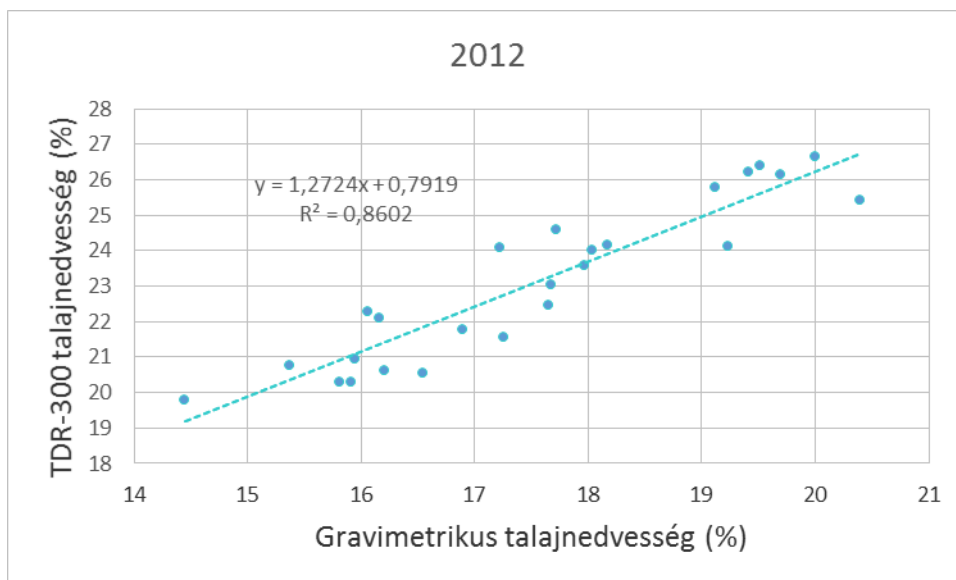
D

45. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2012)



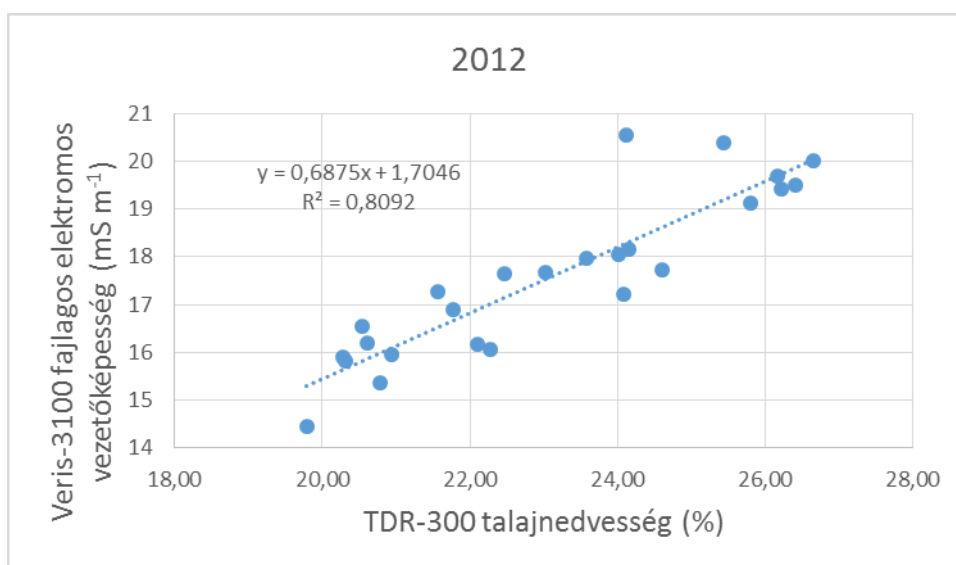
46. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (ECa) közötti összefüggés (2012)

A 46. ábra az ArcView programban a táblán belüli vizsgált terület interpolált pontjainak összehasonlítását mutatja. A kisebb terület miatt az összehasonlított adatpárok száma 1807 db. A vizsgálat eredményeként a két adatsor közötti kapcsolatot szorosnak ítéltük, mivel $r=0,886943$ értéket, valamint 78,67% korrelációs együtthatót kaptunk. Az összefüggés valóságának igazolására újabb regresszió-analízist végeztünk, amelyben a mért 25 gravimetrikus adatot vetettük össze a TDR-300 mért adataival (47. ábra).



47. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2012)

A 47. ábra a bolygatatlan talajminták és a TDR-300 volumetrikus talajnedvesség adatait hasonlítja össze. A vizsgálat az adatsorok között szoros kapcsolatot állapított meg, mivel $R^2=0,8602$ * értéket eredményezett.



48. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2012)

A 48. ábra a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének adatait hasonlítja össze a mért volumetrikus talajnedvesség értékekkel az említett 25 pontban. A vizsgálat során a két adatsor között szorosnak ítéltük az összefüggést, mivel az R^2 értékére $0,8092$ *-t kaptunk.

4.3. Új tudományos eredmények

1. Kisparcellás őszi búza kísérlet négy évéből háromban igazoltuk, hogy a vizsgált termőhely esetében az egy adagban, a bokrosodás kezdetén kijuttatott, és a megosztott (80+40 kg N), bokrosodás kezdetén és szárbainduláskor fejtrágyaként kijuttatott 120 kg N dózisok termésre gyakorolt hatásai között nem volt szignifikáns differencia.
2. Csapadékos évben a vizsgált agroökológiai környezetben az osztott adagú műtrágyázás megnövelte a termésbiztonságot azáltal, hogy a gyökérzónából kimosódó N mennyisége kevesebb volt, a kijuttatott hatóanyagból több hasznosult.
3. Csernozjom barna erdőtalajon a legnagyobb N-adagú (150 kg/ha) osztott fejtrágyázás eredményezte a kísérlet négy évében, minden fajta esetében a szemtermés maximumot.
4. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének mért adathalmazából térkép generálható, amellyel jellemezhető a talaj felszínközeli rétegének térbeli és időbeli változatossága. A módszer alkalmas a különböző talajadottságú területek táblán belüli elkülönítésére, menedzsment zónák kialakítására.
5. Megállapítottuk, hogy egy adott terület inhomogenitása befolyásolta a mért adatok normáeloszlását. A vizsgált esetekben még a kiugró értékek leválogatása sem eredményezett normál eloszlást. A statisztikai analízis eredménye azonban nem korlátozza a mérési adatok pontosságát.
6. A Veris 3100 készülékkel történő fajlagos elektromos vezetőképesség mérés az összehasonlító módszertani elemzések szerint alkalmas az adott talaj nedvességállapotának gyors térképezésére.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1. A kisparcellás kísérlet tanulságai

A kisparcellás őszi búza fajta-összehasonlító, nitrogén-trágyázási tartamkísérlet négy vizsgált éve alapján megállapítottuk, hogy a kijutott növekvő N-adagok minden vizsgált fajta esetében növekvő termést eredményeztek.

A kísérlet 3 évében (2008, 2009 és 2011) a különböző N-szintek hozamadatai között szignifikáns különbséget állapítottunk meg, a kísérletben szerepelt őszi búzák növekvő N-mennyiségekkel történő trágyázása emelte a hozam nagyságát. Ez alól kivétel az egyadagú és megosztott 120 kg N hasznosulása, mivel a két N-szint (kijuttatási mód) között a már említett 3 évben szignifikáns különbséget nem tudtunk igazolni. Ez azt jelenti, hogy a fejtrágya adagjának megosztása növelte ugyan a termést, de statisztikailag nem igazolhatóan.

A N-fejtrágyázás hatását vizsgálva a 2010. extrém csapadékos évben mutatkozott meg a megosztott trágyakijuttatás hozamra gyakorolt kedvező hatása. Ebben a ciklusban a megosztott N-adagok (80+40 kg N, 80+40+30 kg N) statisztikailag is igazolható hozamtöbbletet eredményeztek az egyszeri fejtrágyákkal szemben, de a két megosztott N-dózis között nem volt szignifikáns különbség. A 80 és 120 kg egyszeri hatóanyag hozamadatai között sem találtunk statisztikailag igazolható különbséget, amely a nagy mennyiségű és intenzív esőzések tápanyag-kimosó hatására vezethető vissza.

A fajták tápanyag-reakciójának vizsgálatából kiderült, hogy az Alföld-90, az Mv Csárdás és az Mv Magdaléna fajták három évben (2009, 2010 és 2011) alacsonyabb hozamokat produkáltak, mint az Mv Suba és az Mv Toborzó. Ebből arra következtettünk, hogy a vizsgált termőhely viszonylatában a Suba és a Toborzó jobban hasznosította a kijuttatott tápanyagot, ezáltal termésbiztonságuk a térségben kiemelkedő. A két említett martonvásári fajta közül két évben (2010 és 2011) a Toborzó hozama felülmúlta a Subáét, így kettejük közül a területre a Toborzó javasolható nagyobb biztonsággal. A fajta kitűnő tápanyag-hasznosítását mutatja, hogy kiemelten csapadékos évben is a legmagasabb terméseket adta. A vizsgált fajták közül a legkorábbi elismerésű Alföld-90 fajta három évben a harmadik legmagasabb termésszintet érte el, így a fiatalabb, intenzívebb fajták között – a vizsgált termőhely viszonylatában – a mai napig kiegyenlített termésre képes, megbízható fajtának tekinthető. A fajták összehasonlításából kitűnik, hogy a vizsgált termőterület agroökológiai feltételei közé javasolható legmegbízhatóbb

őszi búza fajták az Mv Toborzó (Pannon Standard – Jó malmi minőségű) és az Mv Suba (Pannon Prémium – Prémium minőségű). Ez alapján a terület kiemelten javasolható az élelmiszer célú őszi búza termesztésére.

Az évjáratok összehasonlító vizsgálatában azt tapasztaltuk, hogy minden évben statisztikailag igazolható különbség volt a terméseredmények között, így bebizonyosodott az időjárás nagyfokú termésbefolyásoló hatása. Az évek összehasonlításakor a legmagasabb termést a kísérlet első éve (2008) eredményezte. Az évben átlagon felüli mintegy 700 mm csapadék hullott, de a kiemelkedő hozamokat valószínűsíthetően a fejtrágyázás időszakának kiegyenlített csapadéka eredményezte. A második legmagasabb termésadatokat a 2009. év adta annak ellenére, hogy ebben az esztendőben hullott a vizsgált időszak legkevesebb (480 mm) csapadéka. A csapadék eloszlása viszont ennél az évnél volt a leegyenletesebb, amely igazolja, hogy csapadékszegényebb év is sikeres lehet a növénytermesztés szempontjából, amennyiben az érkező víz egyenletesen oszlik meg. A harmadik legmagasabb hozamok a 2011. évjáratból kerültek ki. Annak ellenére, hogy az időszakban majdnem 670 mm csapadék hullott a kísérleti területen, a csapadékhiányos téli hónapok (január-február), valamint az április gátolták a kijuttatott fejtrágyák felvételét. A 2010. extrém csapadékos évben a hozamok alacsony szinten maradtak és a magasabb dózisoknál sem eredményeztek kiemelt termésnövekedést. Ennek valószínűsíthetően a tápanyag kimosódása volt az oka.

A vizsgált négy év kombinált varianciaanalízise alapján megállapítottuk, hogy a kísérletben az őszi búza hozamára az évjárat volt a legnagyobb hatással, ezt követte a N-műtrágyázás, majd a fajta hatása. A N-trágyázás hatása kétszerese volt a fajta hatásának, de szignifikáns volt az évjárat és N-trágyázás, valamint az évjárat és fajta kölcsönhatás is.

5.2 A talajnedvesség vizsgálatának tanulságai

A Mosonmagyaróváron végzett talajnedvesség (gravimetrikus és TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség mérés (Veris 3100) összehasonlító vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a vizsgálat három évében a kapott adatsorok között a kapcsolat szoros, mivel a regresszió-analízis a leggyengébb esetben is $R^2=0,7911^*$ (2009) értéket mutatott. Az ArcGIS ArcView program segítségével végzett statisztikai elemzés ettől lazább kapcsolatot igazolt két évben (2009 és 2011), ami valószínűsíthetően a nagy mintaszámnak és a nedvességi adatok interpolált értékeinek köszönhető. A vizsgálat harmadik évében csökkentett mintaszámot

és mintavételezési területet alkalmaztunk, ebben az esetben már a programmal végzett statisztikai vizsgálat is 78,67% determinációs együtthatót állapított meg.

A kutatás eredményeként elmondható, hogy a mezőgazdasági termőterületek talajnedvesség-adatainak részletes – a precíziós növénytermesztésben alkalmazható – gravimetrikus talajvizsgálattal történő felvételezése nem kivitelezhető. A precíziós gazdálkodás térképi megjelenítéséhez nagy részletességű és egyenletes eloszlású mintavétel szükséges, ami a bolygatatlan minták vételével nagyon idő- és munkaigényes, fárasztó és költséges folyamat, valamint az eredmények sem azonnal állnak rendelkezésre.

A terepi talajnedvesség meghatározásánál a TDR-300-zal végzett vizsgálatok igazolták, hogy a műszer alkalmas a nedvességi állapot pontos meghatározására, valamint tervezett mintavételi térkép alkalmazásával magas mintavételi pontszám, és egyenletes mintaeloszlás érhető el. Ebben az esetben a mintavételi pontok és a kapott adatok segítségével talajnedvesség térkép készíthető. Ez a mérési eljárás azonban – nagy felbontás esetén – még mindig túl időigényes, ezért vizsgáltuk a talajnedvesség közvetett mérését célzó fajlagos elektromos vezetőképesség meghatározás alkalmazhatóságát.

A vizsgálatok három év viszonylatában is bebizonyították, hogy a mosonmagyaróvári kísérleti tábla viszonylatában a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározása alkalmas a talajnedvesség táblán belüli változékonyságának részletes feltérképezésére. A vezetőképesség-mérés a magas és egyenletes eloszlású mintaszám alapján a precíziós gazdálkodáshoz nélkülözhetetlen térképek készítéséhez kifejezetten megfelelő. A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének térképezéséhez használt Veris 3100 berendezést könnyű használatának és gyors mérési mechanizmusának köszönhetően javaslom a talaj nedvesség-állapotának közvetett, nagy részletességű becslésére.

Az elvégzett kutatás alapján kijelenthető, hogy a fajlagos elektromos vezetőképesség táblaszintű térképezése alkalmas a termőhelyen belüli heterogén talajfoltok elkülönítésére, menedzsment zónák kialakítására. Ezek a meghatározott menedzsment zónák a későbbiekben egymástól elkülönítve kezelhetők a döntéshozatal tekintetében.

A mérések további térbeli és időbeli kiterjesztése szükséges ahhoz, hogy megállapítsuk a talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség kapcsolatát, figyelembe véve a különböző talajparamétereket (sótartalom, agyagtartalom, stb.) is.

5.3. Gyakorlatban is alkalmazható eredmények

A kisparcellás kísérlet termőhelyéhez hasonló agroökológiai feltételekkel rendelkező szántóterületen – az elvégzett kísérlet három évének eredményei alapján – az Mv Suba és az Mv Toborzó fajták termesztési biztonsága nagyobb, mint a vizsgálatban szereplő másik három fajtáé.

Csapadékos évben a fejtrágyázásra szánt N-mennyiség megosztása esetén a többszöri gépi munka járulékos költségeit a biztosabb termés és az ezzel együtt járó magasabb bevétel kompenzálja. Az osztott fejtrágya-kijuttatás emellett a termés minőségére gyakorolt pozitív hatása miatt is javasolható.

Vizsgálataink alapján a TDR-300 talajnedvesség mérő – megfelelő mintavételi stratégia mellett – alkalmas a gyakorlati precíziós gazdálkodás követelményeinek is eleget tevő pontos talajnedvesség térképezésre.

A kutatás eredményei szoros összefüggést tártak fel a talajnedvesség-tartalom és a talaj fajlagos elektromos vezetőképessége között. A kísérleti területéhez hasonló talajtípusok esetén a talaj nedvességtartalmának pontos térbeli és időbeli meghatározása, lehatárolása az általunk használt Veris 3100 műszerrel megvalósítható.

A Veris 3100 talaj fajlagos elektromos vezetőképességét detektáló eszköz alkalmas a talaj térbeli heterogenitásának feltérképezésére, segítségével a homogén táblarészekből menedzsment zónák képezhetők.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

„Búzafajták nitrogén műtrágya reakciójának kisparcellás és a talaj víztartalmának precíziós elemzése” című doktori disszertációm első kutatása kisparcellás őszi búza fajta-összehasonlító tartamkísérlet négy évének adatait mutatja be.

2008: A vizsgált évben a legintenzívebb termésnövekedést a kontrollhoz képest az egyszeri 40 kg hatóanyag-kijuttatásnál tapasztaltuk minden fajta esetében. A legmagasabb hozamokat minden esetben a három adagban kijuttatott N esetében tapasztaltuk. A 2008-ban a vizsgált búzafajták a növekvő nitrogén-dózisokra emelkedő terméssel válaszoltak. Eltérést két esetben találtunk: 1. az Alföld fajta esetében az egyszeri 120 kg dózis által elért termés magasabb lett a megosztott 80+40 kg mennyiségnél, melynek oka valószínűleg kijuttatási hiba lehetett; 2. a Magdaléna esetében a 80 és a 120 kg kijuttatott hatóanyag között nem volt látszólagos különbség, sőt a 120 kg N-nél kissé csökkent a hozam. A Duncan-teszt elvégzése után három fajta esetében tapasztaltunk szignifikáns különbséget (Alföld, Csárdás, Magdaléna), de a Suba és a Toborzó fajták termései sem egymástól, sem a Csárdás és a Magdaléna hozamadataitól sem különböztek szignifikáns mértékben. A különböző N-adagok összehasonlítása minden N-szint között szignifikáns differenciát tárt fel. Kivételt csak az egyszeriben kijuttatott 120 kg és a megosztott dózisú 80+40 kg N-adagnál találtunk, mivel a termések között nem volt szignifikáns eltérés. A 2008. évben a 120 kg N esetében a dózis megosztása nem eredményezett szignifikáns termésnövekedést.

2009: Ebben az évben – két kivételtől eltekintve – a kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyiségének növelésével az elért termések növekedtek. A két kivételes esetet 2009-ben is az Alföld és a Magdaléna fajtáknál mértük: 1. az Alföld fajta esetében az egy adagú 120 kg és a megosztott 80+40 kg N által elért termés között nem tapasztaltunk jelentős különbséget; 2. a Magdaléna fajtánál a megosztott, két adagú 120 kg dózis esetében a hozam kevesebb lett, mint az egyadagú kijuttatásnál. A fajtákra elvégzett Duncan-teszt eredményei alapján szignifikáns differenciát állapítottunk meg a Csárdás és a Magdaléna fajták, valamint e két búza és a másik három fajta (Alföld, Toborzó, Suba) terméseredményei között. Az Alföld, a Toborzó és a Suba termésadatai között a teszt nem mutatott ki szignifikáns differenciát. Az eltérő nitrogénadagok közötti különbségeket szintén Duncan-tesztben hasonlítottunk össze. A teszt eredményében megegyezik az előző év vizsgálati eredményével, mivel minden egyes kijuttatott műtrágya adagnál szignifikáns differenciát állapított meg. Kivételt 2009-ben is a megosztott és az egyösszegű 120 kg-os N-szint jelentett, mivel közöttük nem volt szignifikáns a különbség.

2010: Ebben az évben a termések minden N-szinten alacsonyabbak lettek, mint az ezt megelőző két év esetében. Ennek oka valószínűsíthetően a vegetációs időszakban lehullott extrém magas csapadékmennyiség volt, ami hátrányosan hatott az őszi búza fejlődésére, mivel a kijuttatott tápanyag kimosódása miatt a növekvő N-adagok sem eredményeztek jelentős termésnövekedést. A vizsgált fajták ebben az évben is növekvő terméssel reagáltak a megnövelt N-adagra. Ez alól jelentettek kivételt: 1. az Alföld esetében a 80 és a 120 kg N-szint között, valamint a 80+40 és a 80+40+30 kg szintek között sem mutattunk ki jelentős terméskülönbséget; 2. a Magdalénánál és a Csárdásnál a 80+40 és a 80+40+30 kg N-szintek között ugyancsak nem találtunk termésátlagbeli eltérést; 3. a Csárdás esetében a 120 kg N-dózis alacsonyabb termést eredményezett, mint a 80 kg-os adag. A 2010. egy extrém csapadékos év volt, ahol az egyösszegű 120 kg N hatóanyag terméseit minden esetben meghaladták ennek a mennyiségnek a megosztott kijuttatású hozamai. A fajták Duncan-tesztjében kimutattuk, hogy a 2010. évben minden fajta termése között volt szignifikáns differencia. A kijuttatott N-mennyiségek összehasonlítására végzett teszt szignifikáns különbséget mutatott ki a 0, a 40, a 80 és 120, valamint a 80+40 és 80+40+30 kg N-kezelések között. Nem volt számottevő a különbség viszont a 80 és 120 kg, valamint a 80+40 és 80+40+30 kg N-dózisok hozamra gyakorolt hatásai között.

2011: A vegetációs időszakban a fajták a növekvő tápanyagra minden esetben növekvő hozamokkal reagáltak. Egyedül a Magdalénánál látható kismértékű növekedés a 80 és a 120 kg N-adag között. A 120 kg N megosztása – a Suba fajta kivételével – nem okozott jelentősebb termésnövekedést. A fajták összehasonlító Duncan-tesztje szignifikáns különbséget állapított meg a Csárdás, a Magdaléna, az Alföld, valamint az előbbieket és a Suba-Toborzó fajtapár között. Szignifikáns különbséget nem mutatott viszont a Suba és a Toborzó között. A N-kezelések összevetése a kísérlet első két évével (2008-2009) megegyező eredményt mutatott. A vizsgálat nem igazolt kimutatható szignifikáns különbséget az egydózisú és a megosztott 120 kg N-adagok között, ettől eltekintve viszont minden tápanyag-szinten szignifikáns differenciát állapított meg.

Az egyes évjáratok termésátlagainak utóvizsgálatát ugyancsak Duncan-teszt segítségével végeztük el. A kísérlet négy évében minden esztendő hozama szignifikánsan eltért a többi vizsgálati év terméseitől. A legmagasabb hozamokat átlagosan a kísérlet első évében (2008) kaptuk. 2008-ban majdnem 700 mm csapadék hullott, de a magas hozamokat a fejrágázás időszakának kiegyenlített csapadékelátása eredményezte. A második legmagasabb termésadatokat a 2009. év adta annak ellenére, hogy ebben az esztendőben hullott a vizsgált időszakban a legkevesebb (480 mm) csapadék. A harmadik legmagasabb hozamokat a 2011. évben mértük. Ebben az évben majdnem 670 mm csapadék hullott a kísérleti területen, viszont a csapadékhiányos téli hónapok (január-február), valamint április gátolták a kijuttatott fejrágák

felvételét. A 2010. extrém csapadékos évben a hozamok alacsony szinten maradtak, és a magasabb dózisoknál sem eredményeztek kiemelt termésnövekedést.

A disszertáció kapcsolódó kutatásában a talajnedvesség-mérés két módjának (gravimetrikus és TDR-300) valamint a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének (EC_a – Veris 3100) mérési eredményeit hasonlítottuk össze statisztikailag három év viszonylatában (2009, 2011, 2012). A kutatásban összefüggést kerestünk a talaj nedvességi állapota és fajlagos elektromos vezetőképessége között. A kísérlet célja volt annak igazolása, hogy a talaj elektromos vezetőképességének tábla szintű térképezése alkalmas a talaj nedvességi állapotának detektálására, ezáltal a talajnedvesség mérések gyorsabbá, egyszerűbbé, részletesebbé, költséghatékonyabbá és térben pontosabbá tehetők. Az elektromos vezetőképesség térképezése által elérhető magas mintaszám és egyenletes mintaeloszlás a precíziós gazdálkodásban is alkalmazható közvetett talajnedvesség-mérési módszert eredményez.

A térképek készítésénél a nagy mintaszámmal rendelkező, reprezentatívabb méréstípusokkal (TDR-300, Veris 3100) dolgoztunk, mivel a geostatisztikai térképkészítés követelményeinek alapvető feltétele a magas mintavételi sűrűség és az egyenletes mintaeloszlás. A kísérlet éveiben a kapott térképek között szabad szemmel látható hasonló mintázatot figyeltünk meg, amit minden esetben statisztikai próbának vetettünk alá.

2009: Ebben a kísérleti évben a mérések eredményeként 24 db gravimetrikus, 1364 db volumetrikus talajnedvesség adatot, valamint 13531 db fajlagos elektromos vezetőképesség adatot kaptunk. A kiugró értékek leválogatása után 1195 db talajnedvesség és 13446 db vezetőképesség adat állt rendelkezésünkre a további feldolgozáshoz.

Az ArcGIS ArcMap program segítségével a TDR-300 és a Veris 3100 térképének adatait regresszió-analízisben hasonlítottuk össze, melynek során a program 9390 mintapár esetében az „r” értékére 0,751712-t állapított meg, a determinációs koefficiens mértéke pedig 56,51% lett, amely közepes összefüggést feltételez. Mivel a program a fajlagos elektromos vezetőképesség adatokhoz nem minden esetben tudott társítani nedvességértéket (kevesebb mintavételi pont), ilyen esetekben az interpolált nedvességi adatokkal számolt. Ez okozhatta a nagy mennyiségű mintaszám gyengébb összefüggési szintjét. A 2009-ben feltárt összefüggés bizonyításához a meglévő gravimetrikus talajnedvesség-mérés eredményeit is felhasználtuk a TDR-300 nedvességmérő mért adatainak ellenőrzésére. Regresszió-analízis segítségével vetettük össze a közös 24 pont gravimetrikus és a TDR-300-al mért volumetrikus talajnedvesség adatait. A vizsgálat végén megállapítottuk, hogy 24 pont esetében az összefüggés a két mérés

eredményei között szoros, mivel $R^2=0,7911^*$ értéket kaptunk. Az összefüggés szorossága miatt a TDR-300 vizsgálati eredményeit elfogadtuk, és alkalmasnak ítéltük a talaj fajlagos elektromos vezetőképességével történő összevetésre. A már említett 24 pontban mért talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok összehasonlításánál a két adatsor közötti összefüggést szorosnak találtuk, mivel az R^2 értéke $0,8397^*$ lett. A vizsgált 24 pont statisztikai és térképi összehasonlítása alapján arra következtetésre jutottunk, hogy terepi mérés esetében a talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok közötti kapcsolat szoros.

2011: A kísérleti évben végzett mérések során 11 helyről vettünk bolygatatlan talajmintát a gravimetrikus nedvesség-meghatározáshoz, emellett a TDR-300 talajnedvesség-mérő segítségével 649 pontban végeztünk talajnedvesség mérést, valamint a Veris 3100-as műszerrel 15249 pontban térképeztük fel a terület talajának elektromos vezetőképességét. A talajnedvesség- és fajlagos elektromos vezetőképesség térképek az előző évéhez hasonló mintázatot mutattak, így továbbra is valószínűsítettük, hogy a talajnedvesség és a vezetőképesség adatok között szoros az összefüggés. Feltevésünk igazolására további statisztikai vizsgálatot végeztünk.

Az ArcGIS program az interpolált értékek alapján 9390 adatpárral dolgozva hasonlította össze a talajnedvesség- és vezetőképesség adatokat. A vizsgálat során az $r=0,774046$ értéket kaptuk, a determinációs együttható értéke pedig 59,91% lett, ezért az összefüggés mértékét ismételten közepesnek ítéltük. Mivel ez az eredmény az interpoláció által született adatokat is tartalmazta ragaszkodtunk hozzá, hogy ismert pontok összehasonlítását is elvégezzük. A 2011-ben vett gravimetrikus talajminták és a volumetrikus talajnedvesség adatainak regresszió-analízise során az $R^2=0,8039^*$ értéket kaptuk. Mivel a TDR-300 adatait továbbra is elfogadhatónak tartottuk, ezért a gravimetrikus mintavételi helyek 11 pontjában mért talajnedvesség adatokat regresszió-analízisben hasonlítottuk össze ezen pontok fajlagos elektromos vezetőképesség adataival. A két méréssorozat adatai között ismét szoros összefüggést találtunk, az R^2 -értékére $0,8514^*$ -öt kaptunk. A 2011. évi vizsgálatok alapján ismételten megállapítottuk, hogy a talajnedvesség eloszlásának táblán belüli detektálására alkalmas a talaj elektromos vezetőképességének térképezése.

2012: A kutatás utolsó évében a vizsgálati terület nagyságát csökkentve történt a mintavételezés, eredményeképpen 25 db gravimetrikus és 255 db volumetrikus talajadat, valamint 10973 db vezetőképesség adat született. A kiugró értékek leválogatása után a nedvességadatok száma nem változott, de a vezetőképesség adatok száma 10969-re csökkent. A nedvesség- és fajlagos elektromos vezetőképesség adatokból generált térképek harmadik esetben

is hasonló mintázatot mutattak, de statisztikai elemzést is végeztünk az összefüggés alátámasztására. Az ArcView programban a táblán belüli kisebb mintaterület miatt az összehasonlított adatpárok száma 1807 db lett. A vizsgálat eredményeként a két adatsor közötti kapcsolatot szorosnak ítéltük, mivel $r=0,886943$ értéket, valamint 78,67%-os korrelációs együtthatót kaptunk. Az összefüggés valóságának igazolására újabb regresszió-analízist végeztünk, amelyben a mért 25 gravimetrikus adatot vetettük össze a TDR-300 mért adataival. A vizsgálat az adatsorok között szoros kapcsolatot állapított meg, mivel $R^2=0,8602^*$ értéket eredményezett. Az ismert 25 pont talaj fajlagos elektromos vezetőképességének adatait is regresszió-analízisben hasonlítottuk össze a mért volumetrikus talajnedvesség értékekkel. A vizsgálat során a két adatsor között ismételten szorosnak ítéltük az összefüggést, mivel az R^2 értékére $0,8092^*$ -ot kaptunk.

A kutatás eredményeképpen mindhárom évben igazoltuk, hogy terepi körülmények között a fáradságos, időigényes és költséges (bolygatatlan mintaanalízis) talajnedvesség mérési eljárások közvetett módon helyettesíthetők a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározásával. A vezetőképesség detektálása – módszertanából adódóan – a precíziós adatgyűjtés követelményeinek is megfelelő mintaszámú és eloszlású adatot eredményez, használatával a mezőgazdasági tábla nagy részletességgel feltérképezhető. A talajnedvesség térbeli heterogenitása nagy biztonsággal leképezhető a talaj fajlagos elektromos vezetőképességének térképe szerint, a későbbiekben ez szolgálhat alapul – a talajtípusnak megfelelő – különböző menedzsment zónák kialakításához.

7. SUMMARY

The thesis consists of the presentation of research results of two series of field experiments run partly simultaneously.

The first research of the thesis, titled *Nitrogen fertilization analysis on small plot winter wheat experiments and soil moisture detection in precision farming*, introduces 4 years' data of comparative experiments of small plot winter wheat trials.

2008: The most intense increase in yield was experienced by using a single 40 kg active ingredient for all varieties compared to the controls. The highest yields were reached with the use of the 3 doses of N application in every case. In 2008 the increased use of N doses resulted in growth in harvest in the tested types of wheat. There were divergences in the following two cases: in the case of the Alföld variety the yield was higher when a single 120 kg N was applied than the quantity was divided into 80+40 kg doses. The reason behind was probably an error in the application. In the case of the Magdaléna variety there was no significant difference between the 80 kg and 120 kg doses, moreover there was a slight decrease in the use of the 120 kg N. After having done the Duncan-test significant differences were observed in three types (Alföld, Csárdás, Magdaléna) however the yields of Suba and Toborzó varieties didn't differ significantly either from each other or from the yields of Csárdás and Magdaléna. The comparison of the different N data showed a significant difference in all level of N. The only exceptions were seen in the case of the single 120 kg N application and in the case of the divided N doses (80+40 kg) where there was no significant difference in yields. The division of the 120 kg dose of N didn't result in significant increase in yields.

2009: This year, with two exceptions, the yields increased as a result of an increase in applied N substance. We measured the exceptions again in the cases of Alföld and Magdaléna wheats. In the case of the Alföld type there was no significant difference in yields between the single 120 kg N application and in the case of the divided N doses (80+40 kg). In the case of the Magdaléna there was a decreased yield when the 120 kg N was divided than it was used in a single application. According to the Duncan-test there was a significant difference in yields between the Csárdás and Magdaléna wheats and in the other 3 varieties (Alföld, Toborzó, Suba). The Duncan-test didn't show significant difference among the yields of Alföld, Toborzó and Suba types. Differences in the doses of N were compared by the Duncan test as well. The result of the test falls in with the previous year's result as significant differences were measured in the

applied doses of fertilizer. In 2009 the exception were again the divided and the single applications of the 120 kg N as there was no significant difference between the yields.

2010: In this year the yields were lower in all N-levels as in the previous two years. The reason behind was probably the extreme rainfalls in the vegetation period that had a negative effect on the development of winter wheat as due to the applied nutrition leaching there was no significant increase in yields despite the increased N doses. As a result of the increased N doses there was an increase in the yields in the tested varieties of wheats. Exceptions were the following:

1. In the case of the Alföld type there were no significant differences among 80 kg and 120 kg N doses application, 80+40 kg N doses application and 80+40+30 kg N doses application.

2. There were no significant differences in the yields by applying 80+40 kg N doses and 80+40+30 kg N doses either in the types of Magdaléna or Csárdás.

3. 120 kg N dose resulted in a lower yield than the 80kg N dose application in case of Csárdás.

2010 was an extremely wet year. As a consequence, the yields fertilized by shared doses of 120 kg N exceeded the yields on those fields where the 120kg N was applied at one time. Duncan-test that is used to compare the applied quantities of N showed that there were significant differences among all types of wheats. Significant difference was shown among the 0, 40, 80, 120kg N, the 80+40kg N doses and the 80+40+30kg N doses. However, there were no significant differences among the 80 and 120 kg, and 80+40 kg and 80+40+30 kg N-doses.

2011: The applied increased nutrition resulted in increased yields in the case of all types of wheats in the vegetation period. In case of the Magdaléna type there was only a slight increase in yield between the applied 80kg N doses and the 120kg N doses. The divided use of the 120kg N dose didn't result in increase in yields, except in the case of Suba type. Duncan-test aimed to compare the different types identified significant differences among the Csárdás, Magdaléna and Alföld types and between the mentioned types and the pair of Suba and Toborzó varieties. Significant difference was not shown between Suba and Toborzó types. The Duncan-test for N treatment showed the same result as it was in the first two years of experiment (2008-2009). The test didn't show significant difference between the use of single and divided use of the 120kg N however, apart from this result there was significant difference in all other nutrition levels.

The follow-up of the the average yield per year was carried out by the Duncan-test as well. In all four years of the test period the yearly yield differed significantly from the other three years' results. The highest average yield was obtained in the first year of the experiment (2008). Almost 700 mm rain fell in 2008 but the reason behind the high yield was the balanced rain fall in the period of top-dressing. The second highest yield was obtained in 2009 despite the fact that in the analyzed period the less rain (480 mm) fell in that year. The third highest yield was measured in 2011. Nearly 670 mm rain fell in the experimented area that year, however the lack of rainfall in the winter months (January-February) and in April hindered the uptake of the applied top-dressing. In the extremely wet year of 2010 yields remained at low levels and higher doses didn't result in significant increase in yields.

In the second part of the Ph. D. thesis we compared statistically the results of two types of measurements for soil moisture (gravimetric and TDR-300) and soil electrical conductivity (EC_a – Veris 3100) based on the period of three years (2009; 2011, 2012). We looked for relations between the moisture condition of the soil and the electric conductivity. The aim of the research was to confirm that the mapping of the soil specific electric conductivity is suitable for detecting the moisture status of the soil so that the soil moisture measurements become faster, simpler, more detailed, more cost-effective and more accurate on the spot. Indirect method of measurement for soil moisture in precision farming can be achieved by the high number and equipartition of samples gained by specific electric conductivity mapping.

In order to prepare maps we used those more representative measurement types (TDR-300, Veris, 3100) that are having large number of samples as high sampling density and equipartition are essential elements for geostatistical mapping. We observed similar patterns among the maps in the experimented period and we aimed to verify it statistically.

2009: As a result of the measurements that year we received 24 gravimetric and 1364 volumetric soil moisture data and also 13531 pieces of specific electric conductivity data. After having taken away the excessively high data we got 1195 pieces of soil moisture and 13446 pieces of specific electric conductivity data for further research.

The data of the TDR-300 and Veris 3100 mapping were compared by Regression analysis with the help of the ArcGIS ArcMap program in which in the case of 9390 pairs of samples for the value 'r' 0,75 were identified and the the determination coefficient rate became 56.51% which assumes moderate correlation. As the program was not always able to couple the specific electric conductivity data with moisture data (fewer samples) it counted on the interpolated humidity data. This may have caused the weaker correlation level of the large

number of samples. In order to verify the correlation measured in 2009 we used the existing gravimetric soil moisture measurements' data and that was used to control the 300-TDR moisture measurement metrics. Volumetric soil moisture data measured by gravimetric and TDR-300 were compared by Regression analysis. The outcome showed that the correlation in 24 points is tight as the result was $R^2=0.79$. As a result of the tight correlation we accepted the TDR-300 test results and it was considered to be suitable to compare with the specific soil electrical conductivity. In the comparison of the soil moisture measured in the abovementioned 24 point (TDR) and the data of the specific electric conductivity we found the correlation between the two sets of data tight as the value of R^2 was 0,84. Based on the statistical and mapping comparisons of the 24 point we came to the conclusion that there is a tight correlation between the date of soil moisture and specific electric conductivity in case of field measurements.

2011: In order to determine the soil gravimetric moisture we took undisturbed soil samples from eleven places. In spite of this soil moisture were measured in 649 points by TDR-300 and Veris-3100 device mapped the soil specific electric conductivity in 15249 point. The soil moisture and specific electric conductivity maps showed the same pattern as in the previous year so we could continuously presume that there is a strong correlation between the soil moisture and conductivity data. In order to justify our assumption further statistical analysis were performed.

Based on the interpolated values and using 9390 pairs of data the ArcGIS program compared soil moisture and conductivity data. The result of the test was $r=0.77$ values and the value of the determination coefficient was 60% so the correlation was considered moderate again. Since the result contained also the interpolation data we insisted on making a comparison of the known points. As a result of the Regression analysis of the gravimetric and volumetric soil moisture data from 2011 we received the following data: $R^2=0.8$. As the TDR-300 data are still acceptable the soil moisture data measured in 11 points of gravimetric area was compared in regression analysis with the specific electronic conductivity. We found tight correlation between the two set of data again and the value of R^2 was 0.85. According to the results of the test of 2011 we drew the conclusion that the soil electrical conductivity mapping is suitable to detect the distribution of soil moisture on the field.

2012: In the last year of the research the size of the sampling area was reduced. We received 25 gravimetric data, 255 volumetric soil data and 10973 conductivity data.

After having taken away the excessively high data the number of soil moisture data didn't change but the number of the specific electric conductivity data was reduced to 10969.

Maps made on the basis of the moisture and the specific electric conductivity showed similar pattern for the 3rd time and we made statistical evaluation as well to confirm the correlation. As a result of the reduced size of the sampling area the number of the data pair in the ArcView program were 1807. As a result of the test the correlation between the two set of data considered to be strong as the received value is $r=0.89$ and the correlation coefficient is 79%. In order to proof the correlation a regression analysis was performed in which the measured 25 gravimetric data was compared with the measured data of the TDR-300. The test proved a tight correlation among the set of data as the result was $R^2=0.86$. Regression analysis was used to compare the specific electrical conductivity of soil with the measured values of volumetric soil moisture. Tight correlation between the two set of data was proved as the value of R^2 was 0.81.

As a result of the research it was proved in all three years that the tiring, time-consuming and pricy (undisturbed sample analysis) soil moisture measurement procedures can be indirectly substituted by the specific electric conductivity soil determination. As a result of the methodology the detection of conductivity results in data appropriate in number and distribution that are suitable for precision data collections and with the use of it agricultural fields can be mapped in great details. According to the specific electrical conductivity map the spatial heterogeneity of soil moisture can be considerably mapped which can serve a basis to form the different management zones in the future.

8. MELLÉKLETEK

M.1. Irodalomjegyzék

Nyomtatott irodalom

1. Adamchuk, V.I. – Hummel, J.W. – Morgan, M.T. – Upadhyaya, S.K. (2004): On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **44**. 71-91. pp.
2. Akbar, M.A. – Kenimer, A.L. – Searcy, S.W. – Torbert, H.A. (2005): Soil water estimation using electromagnetic induction. *Trans. ASAE* **48** (1), 129–135. pp.
3. Alcoz, M.M. – Hons F.M. – Haby, V.A. (1993): Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agron. J.* **85**: 1198–1203. pp.
4. Antal, J. (2000): *Növénytermesztők zsebkönyve*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
5. Árendás, T. – Csathó, P. – Németh, T. (2001): Tápanyagellátás a minőségorientált búzatermesztésben. In: *A jó minőségű keményszemű búza nemesítése és termesztése* (szerk: Bedő Z.), Martonvásár-Nádudvar-Szeged, 160 pp.
6. Balla Kovács, A. – Sipos, M. – Kremper, R. (2008): Influence of bio- and chemical fertilization on nitrate accumulation, phosphorus and calcium content in lettuce (*Lactuca sativa L.*). *Cereal Research Communications*. **36**. 555-558. pp. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna.
7. Baráth, Cs-né – Ittész, A. – Ugrósdý, Gy. (1996): *Biometria*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
8. Berecz, K. (1989): A búza fehérjefelhalmozása N-műtrágyázás hatására és a szemfejlődés során. Kandidátusi értekezés, Keszthely
9. Berzsényi, Z. (2002): Az agrotechnikai kutatások szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. (Crop production research in multifunctional agriculture). *Acta Agronomica Hungarica* **50**, Supplementum 39-48 pp.
10. Berzsényi, Z. (2009): Új kihívások és módszerek a növénytermesztési kísérletekben, *Növénytermelés* **58**. (1): 77-91. pp
11. Berzsényi, Z. (2015): *Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése*. Agroinform Kiadó, Budapest, 475. pp.

12. Birkás, M. – Kalmár, T. – Fenyvesi, L. – Földesi, P. (2007): Realities and beliefs in sustainable soil tillage systems – A research approach. *Cereal Research Communications*. **35**. (2) 257-260. pp.
13. Birkás, M. (2010): *Talajművelők zsebkönyve*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
14. Bocz, E. – Győri, Z. (1985): A búza minősége a tápelemek széles spektrumának tükrében. In: *Búzatermesztési Kísérletek 1970-1980*. (Szerk.: Bajai J. – Koltay Á.), Akadémiai Kiadó, Budapest, 724-729. pp.
15. Boman, R.K. – Westerman, R.L. – Raun, W.R. – Jojola, M.E. (1995): Time of nitrogen application: effects on winter wheat and residual soil nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **59**: 1364–1369. pp.
16. Boone, F.R. (1988): Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil Tillage Res.* **11**. 283–324. pp.
17. Boquet, D.J. – Breitenbeck, G.A. (2000): Nitrogen rate effect on partitioning of nitrogen and dry matter by cotton. *Crop Sci.* **40**: 1685–1693. pp.
18. Borgefors, G. (1986): Distance transformations in digital images. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. Volume **43**, 3. pp.
19. Borza, T. – Busics, Gy. (2005): A GPS technológián alapuló geodéziai pontmeghatározások végrehajtásának és dokumentálásának szabályozásáról. *Geodézia és Kartográfia*, **57**. évfolyam 6. szám, 8. pp.
20. Brevik, E.C. – Fenton, T.E. – Iazari, A. (2006): Soil electrical conductivity as a function of soil watercontent and implications for soil mapping. *Prec. Agric.* **7**: 393-404. pp.
21. Calamita, G. – Brocca, L. – Perrone, A. – Piscitelli, S. – Lapenna, V. – Melone, F. – Moramarco, T. (2012): Electrical resistivity and TDR methods for soil moisture estimation in central Italy test-sites. *J. Hydrol.* **454**, 101–112 pp.
22. Chakraborty, D. – Nagarajan, S – Aggarwal, P. – Gupta, V. K. – Tomar, R. K. – Garg, R. N. – Sahoo, R. N. – Sarkar, A. – Chopra, U. K. – Sundara Sarma, K. S. – Kalra, N. (2008): Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. Volume **95**, Issue 12, 1323-1334. pp.
23. Clawson, E.L. – Cothren, J.T. – Blouin, C.D. (2006): Nitrogen fertilization and yield of cotton in ultra-narrow and conventional row spacings. *Agron. J.* **98**: 72–79. pp.
24. Cook, P.G. – Walker, G.R. – Buselli, G. – Potts, I. – Dodds, A.R. (1992): The application of electromagnetic techniques to groundwater recharge investigations. *J. Hydrol.* **130**, 201–229. pp.

25. Corwin, D.L. – Lesch, S.M. (2003): Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles and guidelines. *Agron J.* **95**: 455–71. pp.
26. Corwin, D.L. – Lesch, S.M. (2005): Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* **46** (1–3), 11–43. pp.
27. Csathó, P. – Horváth, J. – Mesterházi, P.Á. – Milics, G. – Nagy, L. – Neményi, M. – Németh, T. – Pecze, Zs. – Szabó, J. (2007): Hazai gyakorlati tapasztalatok. In: *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. Ed.: Németh, T. – Neményi, M. – Harnos, Zs., Szeged: JATE Press – MTA TAKI, 229-240 pp.
28. Csete, L. (2002): Az informáciotechnológia és az információ menedzsment alkalmazásának tanulságai. *Gazdálkodás.* **46.** (6) 69-74. pp.
29. Csiba, M. (2010): Mérési módszerek fejlesztése precíziós növénytermesztési technológiáknál. Doktori (Ph.D.) értekezés. Témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós, Mosonmagyaróvár, 8. pp.
30. Csizmazia, Z. (szerk.) (2007): A tápanyag-gazdálkodás gépei. FM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 137 pp.
31. Czinege, E. – Pásztor, L. – Szabó, J. – Csathó, P. – Árendás, T. (2000): Térinformatikai alapokra épülő műtrágyázási szaktanácsadás. *Agrokémia és Talajtan.* **(49)** 55-63. pp.
32. Dalton, F.N. (1992): Development of time-domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity, *Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice*. In: Topp, G.C. – Reynolds, W.D. – Green, R.E. (Eds.), Soil Science Society of America, Madison, Wis., 143–167. pp.
33. Demmel, M. (1997): Ertragsermittlung in Mähdrescherertragsmessgerätem für die lokale Ertragsermittlung. Eine Ergränzung zu den DLG-Prüfberichten. 5.000/9. **97**:6-9. pp.
34. Domitruk, D. R. – Duggan, B. L. – Fowler, D. B. (2000): Soil water use, biomass accumulation and grain yield of no-till winter wheat on the Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science.* **80.** 4: 729-738. pp.
35. Fang, Q. – Ma, L. – Yu, Q. – Ahuja, L.R. – Malone, R.W. – Hoogenboom, G. (2010): Irrigation strategies to improve the water use efficiency of wheat–maize double cropping systems in North China Plain. *Agric. Water Manag.* **97**, 1165–1174. pp.
36. Fellner-Feldegg, H. (1969): The measurement of dielectrics in the time-domain. *J. Phys. Chem.* **73.** pp. 616-623. pp.
37. Fereres, E. – Soriano, M.A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* **58**, 147–159. pp.

38. Friedman, S.P. (2005): Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Comput. Electron. Agric.* **46**, 45–70. pp.
39. Füleky, Gy. – M. Deák, Sz. – Prém, K. (2002): Az alkalmazott műtrágyamennyiség és a növénytermesztés hatása az ammónium- és nitrát-N felhalmozódására a gödöllői barna erdőtalajon. In: 50 éves az *Acta Agronomica Hungarica*, Martonvásár, 376 p.
40. Győrffy, B. (2000): A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. *Agrofórum*. **11.** (2) 1-4.
41. Győrffy, B. (2001): Javaslat a precíziós agrárgazdaság kutatási programjának indítására. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának 2000. évi Tájékoztatója. Budapest, 17-22. pp.
42. Hartsock, N.J. – Mueller, T.G. – Thomas, G.W. – Barnhisel, R.I. – Wells, K.L. – Shearer, S.A. (2000): Soil electrical conductivity variability. In: Robert PC, et al, editors. *Proc 5th international conference on precision agriculture*. Madison, WI: ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA
43. Hemmat, A. – Eskandari, I. (2004): Conservation tillage practices for winter wheat – fallow farming in the temperate continental climate of northwestern Iran. *Field Crop Res.* **89**. 123–133. pp.
44. Hezarjaribi, A. – Sourell, H. (2007): Feasibility study of monitoring the total available water content using non-invasive electromagnetic induction based and electrode based soil electrical conductivity measurements. *Irrig. Drain.* **56**, 53–65. pp.
45. Hong, N. – Scharf, P.C. – Davis, G. – Kitchen, N.R. – Suddus, K.A. (2007): Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. *J. Environ. Qual.* **36**, 354–362. pp.
46. Hsiao, T.C. – Steduto, P. – Fereres, E. (2007): A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrig. Sci.* **25**, 209–231.
47. Huggins, D.R. – Pan, W.L. (1993): Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* **85**: 898–905. pp.
48. Hummel, J. W. – Gaultney, L. D. – Sudduth, K. A. (1996): Soil property sensing for site-specific crop management. *Computers and Electronics in Agriculture*. **14**. 121-136. pp.
49. Huzsvai, L. – Nagy, J. – Kovács, G.J. – Fodor, N. (2004): Termőhelyre adaptált növényi modellek alkalmazása kukorica termesztésben. In: Integrált növénytermesztési technológiák a XXI. század mezőgazdaságában. *Növénytermesztés*. Ed.: Pepó, P. – Sárvári M. DE-ATC. Debrecen. 79-100 pp.

50. Jolánkai, M. (1981): Őszi búza fajták tápanyag- és vízhasznosítása. Kandidátusi értekezés, Martonvásár.
51. Jolánkai, M. – Berzsenyi, Z. – Kismányoky, T. – Nagy, J. (2002): Precíziós kezelések hatására bekövetkező növényállomány reakciók. In: EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Ed.: Nagy J. DE-ATC, Debrecen, 32-38 pp.
52. Jolánkai, M. – Németh, T. (2002): Precíziós növénytermesztés. (Crop responses induced by precision management techniques). *Acta Agronomica Hungarica* **50**, Supplementum 173-178 pp.
53. Jolánkai, M. (2004): Tápanyagvisszapótlás a növénytermesztésben. In: Környezetügy 2004. Eds.: Bulla, M. – Kerekes, S. OKT Friedrich Ebert Alapítvány, Budapest. 153-160 pp.
54. Jolánkai, M. – Berzsenyi, Z. – Kismányoky, T. – Nagy, J. (2005): Növénytermesztési kutatások a precíziós mezőgazdaságban. In: Fenntartható homoki gazdálkodás megalapozása a Nyírségben. Ed.: Lazányi J. Westsik Vilmos NTA, Nyíregyháza, 17-26 pp.
55. Jolánkai, M. – Németh, T. (2007): Agronómiai és környezetvédelmi elvárások. In: A precíziós mezőgazdaság módszertana. Ed.: Németh, T. – Neményi, M. – Harnos, Zs., Szeged: JATE Press – MTA TAKI, 63-64. pp. (ISBN: 978-963-482-834-1)
56. Jolánkai, P. – Tóth, Z. – Lehoczky, É. – Kismányoky, T. (2005): Effect of nitrogen and pesticides on the yield and weed flora of winter wheat. *Cereal Research Communications*, **33**. 1. 225-228 pp.
57. Kádár, I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiiai Kutató Intézete, Bp. 398 pp.
58. Kalmár, S. (2000): A precíziós gazdálkodást megalapozó hozamtérkép készítési módszer, valamint a tápanyag utánpótlási, agrotechnikai és növényvédelmi eljárások alkalmazásának vizsgálata. Diplomamunka, Mosonmagyaróvár, Növényvédő szakmérnöki posztgraduális szak. 52. pp.
59. Kalmár, S. – Pecze, Zs. (2000): Hozamtérkép készítése Agro-Map 3.0 programmal. *Növényvédelmi Tanácsok*. **9**. (1) 16-18. pp.
60. Kalocsai, R.- Schmidt, R.- Szakál, P. (2004) *Agro Napló* VIII. évf. 2004/3. 14-18. pp.
61. Kang, S. – Zhang, L. – Liang, Y. – Dawes, W. (2003): Simulation of winter wheat yield and water use efficiency in the Loess Plateau of China using WAVES. *Agricultural Systems*. Volume **78**, 3. 355-367. pp.
62. Ketskeméty, L. – Izsó, L. – Könyves, T.E. (2011): Bevezetés az IBM SPSS Statistics programrendszerbe. Artéria Stúdió Kft. Budapest

63. Késmárki, I. – Halupa, L. – Palkovits, G. (1993): Erdőtársulás és szántóföldi növénytermesztés kapcsolata a vízzel. Symposium „Wasser im Pannonischem Raum”, Sopron. 197-203. pp.
64. King, J.A. – Dampney, P.M.R. (2000): Electro-magnetic induction for measuring soil properties. In: Bryson, R.J. (Ed.), Remote sensing in agriculture. Aspects of Applied Biology, vol. **60**, 247–252. pp.
65. Kiss E. (1985): Búzafajták nitrogén-hasznosítása. Kandidátusi értekezés, Gödöllő
66. Klupács, H. – Nyárai, H. F. – Balla, I. – Jolánkai, M. (2007): Water availability - a stressor influencing quantity and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. Cereal Research Communications, **37**: Suppl. 361-364. pp.
67. Koltay, Á. – Balla, L. (1975): Búzatermesztés és -nemesítés, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 22-29. pp.
68. Kotropoulos, A. (2010): Efficient laplacian feature mappyramyds in a hexagonal grid system. In: Image processing for bimetrics. Proceedings of the ICASSP 2010. gitl.sysu.edu.cn/papers/icassp2010/HTML/SessionIndex.html
69. Kravchenko, A. N. – Bullock, D. G. (2000): Correlation of corn and soybean gain yield with topography and soil properties. Agron J. **92**: 75–83. pp.
70. Ladha, J.K. – Pathak, H. – Krupnik, T.J. – Six, J. – van Kessel, C. (2005): Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. Adv. Agron. **87**, 85–156. pp.
71. Lajtha, K. – Whitford, W.G. (1989): The effect of water and nitrogen amendments on photosynthesis, leaf demography, and resource-use efficiency in *Larrea tridentata*, a desert evergreen shrub. Oecologia **80**, 341–348. pp.
72. Lampurlanes, J. – Angas, P. – Cantero-Martinez, C. (2002): Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. Soil Tillage Res. **65**. 207–220. pp.
73. Lawes, R. A. – Oliver, Y. M. – Robertson, M. J. (2009): Integrating the effects of climate and plant available soil water holding capacity on wheat yield. Field Crops Research. Volume **113**, Issue 3, 297-305. pp.
74. Leib, B.G. – Jabro, J.D. – Matthews, G.R. (2003): Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors. Soil Sci. **168**, 396–408. pp.
75. Li, Q. – Dong, B. – Qiao, Y. – Liu, M. – Zhang, J. (2010): Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. Agricultural Water Management. Volume **97**, Issue 10, 1676-1682. pp.

76. Liebman, M. – Davis, A.S. (2000): Integration of soil, crop and weed management in low external-input farming systems. *Weed Research* **40**, 27–47. pp.
77. Lopez-Bellido, L. – Lopez-Bellido, R.J. – Redondo, R. (2005): Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crop. Res.* **94**: 86–97. pp.
78. Malhi, S.S. – Brandt, S. – Hultgreen, G. – Lafond, G. – Lemke, R. – Schoenau, J.J. – Wang, H. (2007): Comparison of agronomic performance of N placement and formulation on wheat, canola and flax at four sites in Saskatchewan. In *Proceedings on Farming Moving Forward SSCA Annual Conference*, 12–13 February, 2007, Saskatoon, Saskatchewan. Saskatchewan Soil Conservation Association. 175–176. pp.
79. Malik, K.R. – Reddy, K.C. (2001): Effects of nitrification inhibitor on nitrate leaching in cotton production systems. In Stott, D.E. – Mohtar, R.H. – Steinhardt, G.C. (eds.) *Sustaining the Global Farm. Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24–29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette.* 371–377. pp.
80. McConnell, J.S. – Baker, W.H. – Miller, D.M. – Frizzell, B.S. – Varvil, J.J. (1993): Nitrogen fertilization of cotton cultivars of differing maturity. *Agron. J.* **85**: 1151–1156. pp.
81. McNeill, J.D. (1980): Electrical conductivity of soil and rocks. Technical Note TN-5, Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada.
82. Mihály, Sz. (1994): A magyarországi geodéziai vonatkozási és vetületi rendszerek leíró katalógusa. *Geodézia és Kartográfia*, **46.** évf. 4. szám, Budapest, 198-203. pp.
83. Mikéné Hegedűs, F. (2006): A fuzzy logika és a neurális hálók alkalmazása a precíziós növénytermelés adatbázisának értékelésében. Doktori (Ph.D.) értekezés. Témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós, Mosonmagyaróvár, 3-4. pp.
84. Milics, G. – Neményi, M. – Stépán, ZS. – Ásványi, L. (2006): A szemtermés tulajdonságainak mérése betakarítás során. XXXI. Óvári Tudományos nap, Élelmiszer alapanyag-előállítás – Quo Vadis?, 2006 október 5., Mosonmagyaróvár, Előadások és posztterek összefoglaló anyaga, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Konferencia CD.
85. Milne, B.T. (1991): Heterogeneity as a multiscale characteristic of landscapes. In: Kolasa J, Pickett STA, editors. *Ecological heterogeneity Ecological studies. Volume 86*, New York, NY: Springer-Verlag; 69–84. pp.

86. Minet, J. – Bogaert, P. – Vanclooster, M. – Lambot, S. (2012): Validation of ground penetrating radar full-waveform inversion for field scale soil moisture mapping. *J. Hydrol.* **424**, 112–123. pp.
87. Misra, R.K. – Padhi, J. (2014): Assessing field-scale soil water distribution with electromagnetic induction method. *Journal of Hydrology* **516.**, 200-209. pp.
88. Mistele, B. – Schmidhalter, U. (2008): Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *Eur. J. Agron.* **29**, 184–190. pp.
89. Mistele, B. – Schmidhalter, U. (2010): Tractor-based quadrilateral spectral reflectance measurements to detect biomass and total aerial nitrogen in winter wheat. *Agron. J.* **102**, 499–506. pp.
90. Nagy, J. /Ed./ (2002): EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. DE-ATC, Debrecen.
91. Nagy, V. (2004): Termőhely-specifikus növénytermesztés hidrológiai alapjai, különös tekintettel Csallóközre és Szigetközre. Doktori (Ph.D.) értekezés. Témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós, Mosonmagyaróvár, 183. pp.
92. Nagy, V. – Štekauerová, V. – Neményi, M. – Milics, G. – Koltai, G. (2007): The role of soil moisture regime in sustainable agriculture in both sides of river Danube in 2002 and 2003. *Cereal Research Communications.* **35:** 821-824. pp.
93. Nagy, V. – Štekauerová, V. – Milics, G. – Lichner, L. – Neményi, M. (2008): Harmonisation of different measuring methods of soil moisture used in Žitný Ostrov (SK) and Szigetköz (HU). *Cereal Research Communications*, **36:** 1475-1478. pp.
94. Neményi, M. – Pecze, Zs. – Mesterházi, P.Á. – Németh, T. (2001): A precíziós-helyspecifikus növénytermesztés műszaki és térinformatikai feltételrendszere. *Növénytermelés.* **50.** (4) 419-430. pp.
95. Neményi, M. – Mesterházi, P.Á. – Pecze, Zs. – Stépán, Zs. (2002): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture.* **40.** 45-55. pp.
96. Neményi, M. (2008): Egy agro-ökológiai alrendszer (növénytermesztés) termodinamikai modellezésének elemei, avagy hol a határa az ésszerű beavatkozásnak. A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében c. Nemzetközi Konferencia. Pécs, 2008. Kiadja az MTA Regionális Kutatások Központja. 249-256. pp. ISBN 978 963 9899 05 6

97. Németh, T. – Jolánkai, M. (2002): A precíziós növénytermesztés elemei. In: EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Ed.: Nagy, J. DE-ATC, Debrecen, 12-21 pp.
98. Nyíri, L. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda kiadó. 96. pp. ISBN 963 7362 49.
99. Palkovits, G. – Schummel, P. (1992): Növénytermesztési kutatási eredmények a Szigetközben. Acta Ovariensis. Mosonmagyaróvár, **34**: 75-87. pp.
100. Pecze, Zs. – Neményi, M. – Debreczeni, B.-né – Csathó, P. – Árendás, T. (2001): Helyspecifikus tápanyag-visszapótlás kukoricanövénynél. Növénytermelés. **50**. (2-3) 269-284. pp.
101. Pecze, Zs. – Neményi, M. – Mesterházi, P.Á. (2001): A helyspecifikus tápanyag-visszapótlás műszaki háttere. Mezőgazdasági Technika. **42**. (2)
102. Pepó, P. (2002): A tápanyagellátás szerepe a fenntartható, többfunkciós növénytermesztésben. In: 50 éves az Acta Agronomica Hungarica, Martonvásár, 376 pp.
103. Pepó, P. (2003): Fejlesztési feladatok és lehetőségek a hazai búzatermesztésben az EU csatlakozás előtt. EU Konform Mezőgazdaság és Élelmiszerbiztonság, Gödöllő, 06. 05. 155-162 pp.
104. Pepó, P. (2009): Eltérő évjáratípusok és agrotechnikai tényezők interaktív hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésére. Növénytermelés. **58**. 2:107-122. pp.
105. Pethes, J. – Kiss, E. – Debreczeni, B.-né (1994): Őszi búzafajták nitrogén-trágyareakciója. Növénytermelés, tom. **43**. no. 1. 77-87 pp.
106. Pethes, J. – Kiss, E. – Debreczeni, B.-né (1997): A N-fejtrágya megosztásának hatása őszi búza-fajták kalászának tömegére és kalászszáma. Növénytermelés, tom. **46**. no. 2. 163-175 pp.
107. Pettigrew, W.T. – Adamczyk, J.J. (2006): Nitrogen fertility and planting date effects on lint yield and Cry1Ac (Bt) endotoxin production. Agron. J. **98**: 691–697. pp.
108. Qiu, G.Y. – Wang, L. – He, X., Zhang, X. – Chen, S. – Chen, J. – Yang, Y. (2008): Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. Agric. Forest Meteorol. **148**, 1848–1859. pp.
109. Rádics, J. – Jóri, J. I. – Szabó, I. – Deákvári, J. – Kovács, L. (2006): Intelligens munkagépek tervezési-üzemeltetési feltételei. MTA – AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő, 2006. 1. kötet. 11-15. pp.

110. Rádics, J. – Jóri, J.I. – Szabó, I. (2008): A különböző művelések hatása a talaj elektromos vezetőképességére. MTA – AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő, 2008. 1. kötet.
111. Ragasits, I. (1998): Búzatermesztés, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 64. pp.
112. Rajkai, K. (1993): A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálati módszerei. In: Búzás, I. (ed): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. INDA 4321 Kiadó, Budapest. 115-160. pp.
113. Rajkai, K. – Rydén, B.E. (1992): Measuring areal soil moisture distribution with TDR method, *Geoderma*, Volume **52**, 73-85. pp.
114. Rajkai, K. (2004): A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest.
115. Raun, W.R. – Johnson, G.V. (1999): Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agronomy Journal*, vol. **91**. 357-363 pp.
116. Reitz, P. (1992): Ertragskartierung Technische Einrichtungen für den Mährescher. *Landtechnik*. **47**. (6) 273-276. pp.
117. Rochester, I. – Constable, G. – Saffigna, P. (1996): Effective nitrification inhibitors may improve fertilizer recovery in irrigated cotton. *Biol. Fert. Soils*. **23**: 1–6. pp.
118. Sági, F. (1996): Precíziós gazdálkodás az EU-ban, különös tekintettel a termés biológiai értékének növelésére. Tématanulmány Országos Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ, Budapest.
119. Scharf, P.C. – Alley, M.M. – Lei, Y.Z. (1993): Spring nitrogen on winter wheat: I. Farmer-field validation of tissue test-based rate recommendations. *Agron. J.* **85**, 1181–1186. pp.
120. Scharf, P.C. – Kitchen, N.R. – Sudduth, K.A. – Glenn Davis, J. – Hubbard, V.C. – Lory, J.A. (2005): Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. *Agron. J.* **97**, 452–461. pp.
121. Schmidhalter, U. – Bredemeier, C. – Geesing, D. – Mistele, B. – Selige, T. – Jungert, S. (2006): Precision agriculture: spatial and temporal variability of soil water, nitrogen and plant crop response. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* **11**, 97–106. pp.
122. Schmidhalter, U. – Maidl, F.-X. – Heuwinkel, H. – Demmel, M. – Auernhammer, H. – Noack, P. – Rothmund, M. (2008): Precision farming – adaptation of land use management to small scale heterogeneity. In: Schröder, P. – Pfadenhauer, J. – Munch, J.C. (Eds.), *Perspectives for Agroecosystem Management*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 121–199. pp.

123. Setatou, H.B. – Simonis, A.D. (1996): Effect of time and rate of nitrogen application on cotton. *Fert. Res.* **43**: 49–53. pp.
124. Shangguan, Z.P. – Shao, M.A. – Dyckmans, J. (2000): Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environ. Exp. Bot.* **44**, 141–149. pp.
125. Shen, S.H. – Gao, W.Y. – Li, B.B. (1999): Water consumption and its impact on yield of winter wheat in Xifeng. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology.* **22**. 1: 88-94. pp.
126. Sipos, M. – Balla Kovács, A. – Oláh Zsuposné, Á. (2008): Effect of nitrogen-supply, nickel-contamination and liming on the chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Cereal Research Communications.* **36**. 447-450. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna.
127. Smil, V. (2002): Nitrogen and food production: Proteins for human diets. *Ambio* **31**, 126–131. pp.
128. Stefanovits, P. (1975) Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
129. Stefanovits, P. (1992): Talajtan. Mezőgazda kiadó. 137. pp.
130. Štekauerová, V. – Nagy, V. – Kotorová, D. (2006): Soil water regime of agricultural field and forest ecosystems. In: *Biologia*. Volume **61**, Suppl. 19. pp.
131. Stone, M.L. – Solie, J.B. – Raun, W.R. – Whitney, R.W. – Taylor, S.L. – Ringer, J.D. (1996): Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Trans. ASAE* **39**, 1623–1631. pp.
132. Stone, M.L. – Benneweis, R.K. – Bergejik, J.Van. (2008): Evolution of Electronics for Mobile Agricultural Equipment. *Transactions of the ASABE.* **51**. (2). pp. 385-390. pp.
133. Su, Z. – Zhang, J. – Wu, W. – Cai, D. – Lv, J. – Jiang, G. – Huang, J. – Gao, J. – Hartmann, R. – Gabriels, D. (2007): Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*. Volume **87**, Issue 3, 307-314. pp.
134. Sudduth, K.A. – Myers, D.B. – Kitchen, N.R. – Drummond, S.T. (2013): Modeling soil electrical conductivity–depth relationships with data from proximal and penetrating ECa sensors. *Geoderma* **199** (SI), 12–21. pp.
135. Šútor, J. – Štekauerová, V. – Nagy, V. – Rodný, M. – Šurda, P. – Milics, G. – Neményi, M. (2009): Agricultural ecosystems protection by the soil water regime stabilization. 5th Crop Production Science Day. Akadémiai Kiadó, Keszthely, 209-212. pp.

136. Tamás, J. (2001): Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági szaktudás Kiadó, Budapest. 144. pp.
137. Tao, S. (1998): Factor score mapping of soil trace element contents for the Shenzhen area. *Water Air Soil Pollut.* **102**: 415–25. pp.
138. Topp, G.C. – Davis, J.L. – Annan, A.P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resource Research.* **16**. 574-582. pp.
139. Topp, G.C. – Davis, J.L. (1985): Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): A field evaluation. *Soil Soc. Am. J.* **49**. 19-24. pp.
140. Trnka, M. – Brázdil, R. – Olesen, J.E. – Eitzinger, J. – Zahradníček, P. – Kocmánková, E. – Dobrovolny, P. – Stepánek, P. – Mozny, M. – Bartosová, L. – Hlavinka, P. – Semerádová, D. – Valášek, H. – Havlíček, M. – Horáková, V. – Fischer, M. – Zalud, Z. (2012): Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agr. Forest Meteorol.* **166–167**, 62–71. pp.
141. Ucan, K. – Killi, F. – Gencoglan, C. – Merdun, H. (2007): Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under field conditions. *Field Crops Res.* **101**, 249–258. pp.
142. Vaughan, B. – Barbarick, K.A. – Westfall, D.G. – Chapman, P.L. (1990): Tissue Nitrogen Levels For Dryland Hard Red Winter Wheat. *Agronomy Journal*, vol. **82**. 561-565 pp.
143. Vágó, I. – Kátai, J. – Sipos, M. – Balla Kovács, A. – Kincses, I. (2008): Changes of yield amount and some content parameters of strawberry (*Fragaria ananassa*) as affected by potassium and magnesium fertilization. International Symposium “Risk Factors for Environment and Food Safety” Oradea, Romania. 317-322. pp.
144. Várallyay, Gy. (2002a): A termőhely-specifikus növénytermesztés talajtani megalapozása. In.: Kovácsné Gál K. (Szerk.): XXIX. Óvári Tudományos Napok (in Hungarian). Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Állattenyésztési Intézet
145. Várallyay, Gy. (2002b): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest Kiadó.
146. Várallyay, Gy. (2003): Az ésszerű és fenntartható földhasználat tudományos alapja. *Geodézia és Kartográfia* **55**: 5. 3-11. pp.
147. Várallyay, Gy. (2004): Talaj az agro-ökoszisztémák alap-eleme. „AGRO-21” Füzetek, **37**: 33–49. pp.

148. Várallyay, Gy. (2007): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. In: Orsz. Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Balatonfüred, 2007. okt. 15–17. Tanulmánykötet. MTESZ, Székesfehérvár. 125–135. pp.
149. Várallyay, Gy. (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. In: KLÍMA-21 Füzetek. **52**. 57–72. pp.
150. Villar, J.M. – Guillaumes, E. (2010): Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen recovery in irrigated wheat on a calcareous soil. Spanish J. Agr. Res. **8**: 1218–1230. pp.
151. Weldearegay, D.F. – Yan, F. – Jiang, D. – Liu, F. (2012): Independent and combined effects of soil warming and drought stress during anthesis on seed set and grain yield in two spring wheat varieties. J. Agron. Crop Sci. **198**, 245–253. pp.
152. Wijewardana, Y.G.N.S. – Galagedara, L.W. (2010): Estimation of spatio-temporal variability of soil water content in agricultural fields with ground penetrating radar. J. Hydrol. **391**, 26–35. pp.
153. Williams, B.G. – Hoey, D.: 1987. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of salt and clay contents of soils. Aust J Soil Res. **25**: 21–27. pp.
154. Zhang, X. – Chen, S. – Liu, M. – Pei, D. – Sun, H. (2005): Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain. Agron. J. **97**, 783–790. pp.
155. Zhang, X.Y. – Chen, S.Y. – Sun, H.Y. – Pei, D. – Wang, Y.M. (2008): Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat. Irrig. Sci. **27**, 1–10. pp.
156. Zhang, X. – Chen, S. – Sun, H. – Wang, Y. – Shao, L. (2010): Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. Agric. Water Manag. **97**, 1117–1125. pp.

Elektronikus irodalom

[URL¹] <http://kutyu.hu/cikk/84899/> (letöltve: 2014.01.22.)

[URL²] http://greenfo.hu.et.mentha.hu/hirek/print/2004/06/02/precizios-novenytermesztes-8211-a-xxi-szazad-gazdalkodasa_1086152661 (letöltve: 2014.01.22.)

[URL³] https://miau.gau.hu/mediawiki/index.php/Prec%C3%ADzi%C3%B3s_gazd%C3%A1llkod%C3%A1s (letöltve: 2014.01.29.)

[URL⁴] http://www.urvilag.hu/mezogazdasag/20040430_muholdas_helymeghatarozas_az_agrariumban (letöltve: 2014.01.15.)

[URL⁵] <http://www.axial.hu/hirek/gps/a-halozati-rtk-rol/hu> (letöltve: 2014.01.22.)

[URL⁶] <http://www.borealis-lat.com/hu/hu/tapanyagellatas/tapanyag-ellatasi-ajanlasok/buza-oszi-alaptragyazasa.html> (letöltve: 2014.01.22.)

M.2. Ábrák jegyzéke

1. ábra Szárítószekrény	33
2. ábra A tenziométer elvi vázlata (Forrás: <i>Várallyay</i> , 2002b)	34
3. ábra A γ -sugár-gyengítési talajnedvességtartalom-meghatározás elvi vázlata (Forrás: <i>Várallyay</i> , 2002b).....	35
4. ábra Talajnedvesség-meghatározás neutronszóródásos módszerrel (Forrás: <i>Csiba</i> , 2010)	36
5. ábra TDR elvi vázlat (Forrás: <i>Rajkai</i> , 2004)	37
6. ábra A nagygyombosi kísérleti terület elhelyezkedése (Háttérkép: GoogleEarth)	41
7. ábra A 2008. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)	42
8. ábra A 2009. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)	43
9. ábra A 2010. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)	43
10. ábra A 2011. év csapadék és hőmérséklet adatai (Forrás: OMSZ)	44
11. ábra A vizsgált terület elhelyezkedése (Háttér: GoogleEarth)	50
12. ábra A 2009. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban	52
13. ábra A 2011. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban	53
14. ábra A 2012. évi mérést megelőző 30 nap csapadékmennyiségei napi lebontásban	53
15. ábra A 2009. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (gravimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100).....	54
16. ábra A 2011. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (gravimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100).....	56
17. ábra A 2012. évi mintavételi pontok elhelyezkedése (garvimetrikus talajminták, TDR-300 és Veris 3100).....	57
18. ábra A Spectrum TDR-300 talajnedvesség mérő felépítése és alkalmazása.....	59
19. ábra A Veris 3100 mérőműszer felépítése és működési elve.....	60
20. ábra A Veris 3100 fajlagos vezetőképesség mérő használat közben	60
21. ábra A 2009. évi Veris 3100-as fajlagos elektromos vezetőképesség adatok hisztogramja ...	62
22. ábra A normál QQ plot értelmezése	63
23. ábra A normál QQ plot, a hisztogram és a térkép közötti kapcsolat.....	64
24. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagygyombos, 2008	65

25. ábra A fajták összehasonlítása, 2008 (Duncan-teszt).....	67
26. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2008 (Duncan-teszt)	67
27. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagygyombos, 2009	68
28. ábra A fajták összehasonlítása, 2009 (Duncan-teszt).....	69
29. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2009 (Duncan-teszt)	70
30. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagygyombos, 2010	71
31. ábra A fajták összehasonlítása, 2010 (Duncan-teszt).....	72
32. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2010 (Duncan-teszt)	73
33. ábra N-fejtrágyák hatása őszi búza fajták szemtermésére. Hatvan-Nagygyombos, 2011	74
34. ábra A fajták összehasonlítása, 2011 (Duncan-teszt).....	75
35. ábra A kijuttatott N-dózisok összehasonlítása, 2011 (Duncan-teszt)	76
36. ábra A kísérlet éveinek összegzett termése (2008-2011).....	77
37. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2009)	79
38. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (EC_a) közötti összefüggés (2009).....	80
39. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2009).....	80
40. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2009)	81
41. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2011)	82
42. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (EC_a) közötti összefüggés (2011).....	82
43. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2011).....	83
44. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2011)	83
45. ábra A talajnedvesség és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe (2012)	85
46. ábra A talajnedvesség (TDR) és fajlagos elektromos vezetőképesség (EC_a) közötti összefüggés (2012).....	85
47. ábra A gravimetrikus és volumetrikus talajnedvesség közötti összefüggés (2012).....	86
48. ábra A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség közötti összefüggés (2012)	86

M.3. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat A kísérlet elrendezése	46
2. táblázat Magyarázat a kísérleti elrendezéshez és a statisztikához.....	46
3. táblázat Az eredeti és a statisztikai leválogatást követő mintaszámok	58
4. táblázat A 2008-as év összesítő táblázata	66
5. táblázat A 2008. év varianciaanalízisének eredményei.....	66
6. táblázat A 2009. év termés-összesítő táblázata	69
7. táblázat A 2009. év varianciaanalízisének eredményei.....	69
8. táblázat A 2010. év termés-összesítő táblázata	72
9. táblázat A 2010. év varianciaanalízisének eredményei.....	72
10. táblázat A 2011. év termésösszesítő táblázata	74
11. táblázat A 2011. év varianciaanalízisének eredményei.....	75
12. táblázat A vizsgált 4 év kombinált varianciaanalízise (2008-2011)	77

M.4. A kisparcellás kísérlet varianciaanalízisének és post hoc vizsgálatának eredményei**1/a melléklet. A 2008. év varianciaanalízise****Analysis of variance**

Variate: GrainYield

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Replication stratum	3	0.2193	0.0731	0.97	
Replication.Cultivar stratum					
Cultivar	4	3.3512	0.8378	11.11	<.001
Residual	12	0.9048	0.0754	0.49	
Replication.Cultivar.Fertilization stratum					
Fertilization	5	64.9467	12.9893	84.60	<.001
Cultivar.Fertilization	20	4.5408	0.2270	1.48	0.115
Residual	75	11.5158	0.1535		
Total	119	85.4787			

Message: the following units have large residuals.

Replication 2 Cultivar 4 -0.200 s.e. 0.087

Replication 1 Cultivar 1 Fertilization 2	-1.104	s.e. 0.310
Replication 1 Cultivar 1 Fertilization 6	1.296	s.e. 0.310
Replication 3 Cultivar 1 Fertilization 6	-0.787	s.e. 0.310
Replication 4 Cultivar 1 Fertilization 5	0.979	s.e. 0.310

Tables of means

Variate: GrainYield

Grand mean 7.547

Cultivar	1	2	3	4	5
	7.254	7.737	7.633	7.483	7.625

Fertilization	1	2	3	4	5	6
	6.155	7.125	7.635	7.930	8.020	8.415

Cultivar	Fertilization	1	2	3	4	5	6
1		5.875	6.975	7.450	7.725	7.325	8.175
2		6.475	7.525	7.850	7.825	8.325	8.425
3		5.650	7.175	7.850	8.175	8.300	8.650
4		6.450	7.000	7.450	7.825	7.900	8.275
5		6.325	6.950	7.575	8.100	8.250	8.550

Standard errors of differences of means

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar	Fertilization
rep.		24	20	4
s.e.d.		0.0793	0.1239	0.2651
d.f.		12	75	85.31
Except when comparing means with the same level(s) of				
Cultivar				0.2771
d.f.				75

Least significant differences of means (5% level)

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar Fertilization
rep.	24	20	4
l.s.d.	0.1727	0.2468	0.5270
d.f.	12	75	85.31

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar	0.5520
d.f.	75

```

264  DELETE [REDEFINE=yes] _mean, _rep, _var, _resid, _rdf, _scode
265  SCALAR _scode; VALUE=0
266  AKEEP [FACTORIAL=9] Cultivar; MEAN=_mean; REP=_rep; VARIANCE=_var;
RTERM=_resid; STATUS=_scode
267  IF _scode .in. !(1,2)
268      AKEEP [FACTORIAL=9] #_resid; DF=_rdf
269      AMCOMPARISON [PRINT=letter,line; METHOD=duncan; DIRECTION=ascending;
PROB=0.05]\
270      Cultivar

```

Duncan's multiple range test

Cultivar

	Mean
1	7.254
4	7.483
5	7.625
3	7.633
2	7.737

	Mean	
1	7.254	a
4	7.483	b
5	7.625	bc
3	7.633	bc
2	7.737	c

```

271 ELSE
272     CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
273     'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
274     'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
275 ENDIF

```

Duncan's multiple range test 2008

Műtrágya kezelésekre

Fertilization

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
1 vs 2	-0.9700	-1.217	-0.7232	-7.828	yes
1 vs 3	-1.4800	-1.740	-1.2203	-11.944	yes
1 vs 4	-1.7750	-2.043	-1.5068	-14.325	yes
1 vs 5	-1.8650	-2.139	-1.5905	-15.051	yes
1 vs 6	-2.2600	-2.539	-1.9807	-18.239	yes
2 vs 3	-0.5100	-0.757	-0.2632	-4.116	yes
2 vs 4	-0.8050	-1.065	-0.5453	-6.496	yes
2 vs 5	-0.8950	-1.163	-0.6268	-7.223	yes
2 vs 6	-1.2900	-1.564	-1.0155	-10.411	yes
3 vs 4	-0.2950	-0.542	-0.0482	-2.381	yes
3 vs 5	-0.3850	-0.645	-0.1253	-3.107	yes
3 vs 6	-0.7800	-1.048	-0.5118	-6.295	yes
4 vs 5	-0.0900	-0.337	0.1568	-0.726	no
4 vs 6	-0.4850	-0.745	-0.2253	-3.914	yes
5 vs 6	-0.3950	-0.642	-0.1482	-3.188	yes

	Mean	
1	6.155	a
2	7.125	b
3	7.635	c
4	7.930	d
5	8.020	d
6	8.415	e

```

124 ELSE
125     CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
126     'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
127     'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
128 ENDIF

```

Duncan's multiple range test 2008

Fajták összehasonlítására

Cultivar

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
1 vs 4	-0.2292	-0.4019	-0.0565	-2.891	yes
1 vs 5	-0.3708	-0.5516	-0.1901	-4.678	yes
1 vs 3	-0.3792	-0.5648	-0.1935	-4.783	yes
1 vs 2	-0.4833	-0.6722	-0.2944	-6.097	yes
4 vs 5	-0.1417	-0.3144	0.0310	-1.787	no
4 vs 3	-0.1500	-0.3308	0.0308	-1.892	no
4 vs 2	-0.2542	-0.4398	-0.0685	-3.206	yes
5 vs 3	-0.0083	-0.1810	0.1644	-0.105	no
5 vs 2	-0.1125	-0.2933	0.0683	-1.419	no
3 vs 2	-0.1042	-0.2769	0.0685	-1.314	no

	Mean	
1	7.254	a
4	7.483	b
5	7.625	bc
3	7.633	bc
2	7.737	c

1/b melléklet. A 2009. év varianciaanalízise

Analysis of variance

Variate: GrainYield

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Replication stratum	3	0.71758	0.23919	3.00	
Replication.Cultivar stratum					
Cultivar	4	35.79117	8.94779	112.30	<.001
Residual	12	0.95617	0.07968	1.41	
Replication.Cultivar.Fertilization stratum					
Fertilization	5	42.54242	8.50848	150.55	<.001
Cultivar.Fertilization	20	2.39383	0.11969	2.12	0.011
Residual	75	4.23875	0.05652		
Total	119	86.63992			

Message: the following units have large residuals.

Replication 4 Cultivar 1 0.226 s.e. 0.089

Replication 1 Cultivar 2 Fertilization 5 0.521 s.e. 0.188

Replication 3 Cultivar 2 Fertilization 4 -0.504 s.e. 0.188

Replication 4 Cultivar 2 Fertilization 5 -0.596 s.e. 0.188

Tables of means

Variate: GrainYield

Grand mean 6.351

Cultivar	1	2	3	4	5
	6.725	6.096	6.804	5.387	6.742

Fertilization	1	2	3	4	5	6
	5.305	5.940	6.280	6.710	6.780	7.090

Cultivar	Fertilization	1	2	3	4	5	6
1		5.625	6.300	6.600	7.225	7.225	7.375
2		4.875	5.550	6.175	6.600	6.425	6.950
3		5.700	6.250	6.575	7.250	7.400	7.650
4		4.700	5.125	5.350	5.600	5.675	5.875
5		5.625	6.475	6.700	6.875	7.175	7.600

Standard errors of differences of means

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar
			Fertilization
rep.	24	20	4
s.e.d.	0.0815	0.0752	0.1737
d.f.	12	75	82.34
Except when comparing means with the same level(s) of			
Cultivar			0.1681
d.f.			75

Least significant differences of means (5% level)

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar
			Fertilization
rep.	24	20	4
l.s.d.	0.1775	0.1498	0.3456
d.f.	12	75	82.34
Except when comparing means with the same level(s) of			
Cultivar			0.3349
d.f.			75

```

393  DELETE [REDEFINE=yes] _mean, _rep, _var, _resid, _rdf, _scode
394  SCALAR _scode; VALUE=0
395  AKEEP [FACTORIAL=9] Cultivar; MEAN=_mean; REP=_rep; VARIANCE=_var;
RTERM=_resid; STATUS=_scode
396  IF _scode .in. !(1,2)
397    AKEEP [FACTORIAL=9] #_resid; DF=_rdf
398    AMCOMPARISON [PRINT=letter,line; METHOD=duncan; DIRECTION=ascending;
PROB=0.05]\
399    Cultivar

```

Duncan's multiple range test

Cultivar

	Mean
4	5.387
2	6.096
1	6.725
5	6.742
3	6.804

	Mean	
4	5.387	a
2	6.096	b
1	6.725	c
5	6.742	c
3	6.804	c

```

400 ELSE
401   CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
402   'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
403   'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
404 ENDIF

```

Duncan's multiple range test 2009

Fajták összehasonlítására

Cultivar

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
4 vs 2	-0.7083	-0.8859	-0.5308	-8.693	yes
4 vs 1	-1.3375	-1.5233	-1.1517	-16.414	yes
4 vs 5	-1.3542	-1.5450	-1.1633	-16.618	yes
4 vs 3	-1.4167	-1.6109	-1.2225	-17.385	yes

2 vs 1	-0.6292	-0.8067	-0.4516	-7.721	yes
2 vs 5	-0.6458	-0.8317	-0.4600	-7.926	yes
2 vs 3	-0.7083	-0.8992	-0.5175	-8.693	yes
1 vs 5	-0.0167	-0.1942	0.1609	-0.205	no
1 vs 3	-0.0792	-0.2650	0.1067	-0.972	no
5 vs 3	-0.0625	-0.2400	0.1150	-0.767	no

	Mean	
4	5.387	a
2	6.096	b
1	6.725	c
5	6.742	c
3	6.804	c

Duncan's multiple range test 2009

Műtrágyázási kezelések összehasonlítására

Fertilization

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
1 vs 2	-0.6350	-0.7848	-0.4852	-8.45	yes
1 vs 3	-0.9750	-1.1326	-0.8174	-12.97	yes
1 vs 4	-1.4050	-1.5677	-1.2423	-18.69	yes
1 vs 5	-1.4750	-1.6415	-1.3085	-19.62	yes
1 vs 6	-1.7850	-1.9544	-1.6156	-23.74	yes
2 vs 3	-0.3400	-0.4898	-0.1902	-4.52	yes
2 vs 4	-0.7700	-0.9276	-0.6124	-10.24	yes
2 vs 5	-0.8400	-1.0027	-0.6773	-11.17	yes
2 vs 6	-1.1500	-1.3165	-0.9835	-15.30	yes
3 vs 4	-0.4300	-0.5798	-0.2802	-5.72	yes

3 vs 5	-0.5000	-0.6576	-0.3424	-6.65	yes
3 vs 6	-0.8100	-0.9727	-0.6473	-10.77	yes
4 vs 5	-0.0700	-0.2198	0.0798	-0.93	no
4 vs 6	-0.3800	-0.5376	-0.2224	-5.05	yes
5 vs 6	-0.3100	-0.4598	-0.1602	-4.12	yes

Mean

1	5.305	a
2	5.940	b
3	6.280	c
4	6.710	d
5	6.780	d
6	7.090	e

1/c melléklet. A 2010. év varianciaanalízise

Analysis of variance

Variate: GrainYield

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Replication stratum	3	0.04092	0.01364	0.16	
Replication.Cultivar stratum					
Cultivar	4	20.92550	5.23137	60.10	<.001
Residual	12	1.04450	0.08704	1.47	
Replication.Cultivar.Fertilization stratum					
Fertilization	5	18.86342	3.77268	63.63	<.001
Cultivar.Fertilization	20	1.37450	0.06872	1.16	0.313

Residual	75	4.44708	0.05929
----------	----	---------	---------

Total	119	46.69592	
-------	-----	----------	--

Message: the following units have large residuals.

Replication 3 Cultivar 4	0.236	s.e. 0.093
--------------------------	-------	------------

Replication 3 Cultivar 3 Fertilization 6	-0.571	s.e. 0.193
--	--------	------------

Tables of means

Variate: GrainYield

Grand mean 4.156

Cultivar	1	2	3	4	5
	4.271	3.487	4.462	3.900	4.658

Fertilization	1	2	3	4	5	6
	3.495	3.820	4.170	4.275	4.530	4.645

Cultivar	Fertilization	1	2	3	4	5	6
1		3.725	3.950	4.350	4.350	4.625	4.625
2		2.825	3.250	3.500	3.650	3.825	3.875
3		3.950	4.225	4.325	4.600	4.775	4.900
4		3.175	3.550	4.025	3.850	4.375	4.425
5		3.800	4.125	4.650	4.925	5.050	5.400

Standard errors of differences of means

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar Fertilization
rep.	24	20	4
s.e.d.	0.0852	0.0770	0.1788
d.f.	12	75	81.56
Except when comparing means with the same level(s) of			
Cultivar			0.1722
d.f.			75

Least significant differences of means (5% level)

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar Fertilization
rep.	24	20	4
l.s.d.	0.1856	0.1534	0.3557
d.f.	12	75	81.56
Except when comparing means with the same level(s) of			
Cultivar			0.3430
d.f.			75

```

519 DELETE [REDEFINE=yes] _mean, _rep, _var, _resid, _rdf, _scode
520 SCALAR _scode; VALUE=0
521 AKEEP [FACTORIAL=9] Cultivar; MEAN=_mean; REP=_rep; VARIANCE=_var;
RTERM=_resid; STATUS=_scode
522 IF _scode .in. !(1,2)
523     AKEEP [FACTORIAL=9] #_resid; DF=_rdf
524     AMCOMPARISON [PRINT=letter,line; METHOD=duncan; DIRECTION=ascending;
PROB=0.05]\
525     Cultivar

```

Duncan's multiple range test

Cultivar

	Mean
2	3.487
4	3.900
1	4.271
3	4.462
5	4.658

	Mean	
2	3.487	a
4	3.900	b
1	4.271	c
3	4.462	d
5	4.658	e

```

526 ELSE
527     CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
528     'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
529     'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
530 ENDIF

```

Duncan's multiple range test 2010

Fajták összehasonlítására

Cultivar

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
2 vs 4	-0.4125	-0.5981	-0.2269	-4.843	yes
2 vs 1	-0.7833	-0.9776	-0.5891	-9.198	yes
2 vs 3	-0.9750	-1.1745	-0.7755	-11.448	yes
2 vs 5	-1.1708	-1.3738	-0.9679	-13.747	yes

4 vs 1	-0.3708	-0.5564	-0.1853	-4.354	yes
4 vs 3	-0.5625	-0.7567	-0.3683	-6.605	yes
4 vs 5	-0.7583	-0.9578	-0.5589	-8.904	yes
1 vs 3	-0.1917	-0.3772	-0.0061	-2.250	yes
1 vs 5	-0.3875	-0.5817	-0.1933	-4.550	yes
3 vs 5	-0.1958	-0.3814	-0.0103	-2.299	yes

Mean

2	3.487	a
4	3.900	b
1	4.271	c
3	4.462	d
5	4.658	e

Duncan's multiple range test 2010

Műtrágyázási kezelések összehasonlítására

Fertilization

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
1 vs 2	-0.3250	-0.4784	-0.1716	-4.221	yes
1 vs 3	-0.6750	-0.8364	-0.5136	-8.766	yes
1 vs 4	-0.7800	-0.9467	-0.6133	-10.129	yes
1 vs 5	-1.0350	-1.2056	-0.8644	-13.441	yes
1 vs 6	-1.1500	-1.3236	-0.9764	-14.935	yes
2 vs 3	-0.3500	-0.5034	-0.1966	-4.545	yes
2 vs 4	-0.4550	-0.6164	-0.2936	-5.909	yes
2 vs 5	-0.7100	-0.8767	-0.5433	-9.220	yes
2 vs 6	-0.8250	-0.9956	-0.6544	-10.714	yes
3 vs 4	-0.1050	-0.2584	0.0484	-1.364	no
3 vs 5	-0.3600	-0.5214	-0.1986	-4.675	yes

3 vs 6	-0.4750	-0.6417	-0.3083	-6.169	yes
4 vs 5	-0.2550	-0.4084	-0.1016	-3.312	yes
4 vs 6	-0.3700	-0.5314	-0.2086	-4.805	yes
5 vs 6	-0.1150	-0.2684	0.0384	-1.493	no

	Mean	
1	3.495	a
2	3.820	b
3	4.170	c
4	4.275	c
5	4.530	d
6	4.645	d

1/d melléklet. A 2011. év varianciaanalízise

Analysis of variance

Variate: GrainYield

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Replication stratum	3	0.20225	0.06742	0.72	
Replication.Cultivar stratum					
Cultivar	4	29.08383	7.27096	78.03	<.001
Residual	12	1.11817	0.09318	1.37	
Replication.Cultivar.Fertilization stratum					
Fertilization	5	44.61042	8.92208	130.77	<.001
Cultivar.Fertilization	20	1.62417	0.08121	1.19	0.287
Residual	75	5.11708	0.06823		

Total 119 81.75592

Tables of means

Variate: GrainYield

Grand mean 5.444

Cultivar	1	2	3	4	5
	5.379	5.154	5.921	4.717	6.050

Fertilization	1	2	3	4	5	6
	4.485	4.945	5.330	5.705	5.855	6.345

Cultivar	Fertilization	1	2	3	4	5	6
1		4.450	5.075	5.300	5.575	5.750	6.125
2		4.250	4.600	5.300	5.350	5.525	5.900
3		4.850	5.400	5.775	6.150	6.450	6.900
4		3.825	4.075	4.450	5.175	5.200	5.575
5		5.050	5.575	5.825	6.275	6.350	7.225

Standard errors of differences of means

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar Fertilization
rep.	24	20	4
s.e.d.	0.0881	0.0826	0.1902
d.f.	12	75	82.91

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar	0.1847
d.f.	75

Least significant differences of means (5% level)

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar Fertilization
rep.	24	20	4
l.s.d.	0.1920	0.1645	0.3784
d.f.	12	75	82.91

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar	0.3679
d.f.	75

```

645  DELETE [REDEFINE=yes] _mean, _rep, _var, _resid, _rdf, _scode
646  SCALAR _scode; VALUE=0
647  AKEEP [FACTORIAL=9] Cultivar; MEAN=_mean; REP=_rep; VARIANCE=_var;
RTERM=_resid; STATUS=_scode
648  IF _scode .in. !(1,2)
649    AKEEP [FACTORIAL=9] #_resid; DF=_rdf
650    AMCOMPARISON [PRINT=letter,line; METHOD=duncan; DIRECTION=ascending;
PROB=0.05]\
651    Cultivar

```

Duncan's multiple range test

Cultivar

	Mean	
4	4.717	
2	5.154	
1	5.379	
3	5.921	
5	6.050	

	Mean	
4	4.717	a
2	5.154	b
1	5.379	c
3	5.921	d
5	6.050	d

```

652 ELSE
653     CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
654     'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
655     'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
656 ENDIF

```

Duncan's multiple range test 2011

Fajták összehasonlítására

Cultivar

	Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison					
4 vs 2	-0.4375	-0.6295	-0.2455	-4.965	yes
4 vs 1	-0.6625	-0.8635	-0.4615	-7.518	yes
4 vs 3	-1.2042	-1.4106	-0.9978	-13.665	yes
4 vs 5	-1.3333	-1.5433	-1.1233	-15.131	yes
2 vs 1	-0.2250	-0.4170	-0.0330	-2.553	yes
2 vs 3	-0.7667	-0.9676	-0.5657	-8.700	yes
2 vs 5	-0.8958	-1.1022	-0.6894	-10.166	yes
1 vs 3	-0.5417	-0.7337	-0.3497	-6.147	yes
1 vs 5	-0.6708	-0.8718	-0.4699	-7.613	yes
3 vs 5	-0.1292	-0.3212	0.0628	-1.466	no

	Mean	
4	4.717	a
2	5.154	b
1	5.379	c
3	5.921	d
5	6.050	d

Duncan's multiple range test 2011

Műtrágyázási kezelések összehasonlítására

Fertilization

		Difference	Lower 95%	Upper 95%	t	Significant
Comparison						
1 vs 2		-0.4600	-0.625	-0.2955	-5.57	yes
1 vs 3		-0.8450	-1.018	-0.6719	-10.23	yes
1 vs 4		-1.2200	-1.399	-1.0412	-14.77	yes
1 vs 5		-1.3700	-1.553	-1.1870	-16.59	yes
1 vs 6		-1.8600	-2.046	-1.6738	-22.52	yes
2 vs 3		-0.3850	-0.550	-0.2205	-4.66	yes
2 vs 4		-0.7600	-0.933	-0.5869	-9.20	yes
2 vs 5		-0.9100	-1.089	-0.7312	-11.02	yes
2 vs 6		-1.4000	-1.583	-1.2170	-16.95	yes
3 vs 4		-0.3750	-0.540	-0.2105	-4.54	yes
3 vs 5		-0.5250	-0.698	-0.3519	-6.36	yes
3 vs 6		-1.0150	-1.194	-0.8362	-12.29	yes
4 vs 5		-0.1500	-0.315	0.0145	-1.82	no
4 vs 6		-0.6400	-0.813	-0.4669	-7.75	yes
5 vs 6		-0.4900	-0.655	-0.3255	-5.93	yes

		Mean	
1	4.485	a	
2	4.945	b	
3	5.330	c	
4	5.705	d	
5	5.855	d	
6	6.345	e	

1/e melléklet. A 2008-2011. évek kombinált varianciaanalízise

Analysis of variance

Variate: GrainYield

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Replication stratum	3	0.19673	0.06558	0.59	
Replication.Cultivar stratum					
Cultivar	4	56.05596	14.01399	125.26	<.001
Residual	12	1.34254	0.11188	1.24	
Replication.Cultivar.Fertilization stratum					
Fertilization	5	161.71669	32.34334	357.18	<.001
Cultivar.Fertilization	20	2.86404	0.14320	1.58	0.080
Residual	75	6.79135	0.09055	1.10	
Replication.Cultivar.Fertilization.*Units* stratum					
Year	3	739.44440	246.48147	2998.85	<.001
Cultivar.Year	12	33.09571	2.75798	33.56	<.001
Fertilization.Year	15	9.24623	0.61642	7.50	<.001
Cultivar.Fertilization.Year	60	7.06929	0.11782	1.43	0.029
Residual	270	22.19187	0.08219		
Total	479	1040.01481			

Message: the following units have large residuals.

Replication 4 Cultivar 1	0.106	s.e. 0.053
Replication 1 Cultivar 1 Fertilization 6	0.341	s.e. 0.119
Replication 4 Cultivar 2 Fertilization 4	0.342	s.e. 0.119
Replication 1 Cultivar 1 Fertilization 2 *units* 1	-1.100	s.e. 0.215
Replication 1 Cultivar 1 Fertilization 6 *units* 1	0.900	s.e. 0.215
Replication 2 Cultivar 1 Fertilization 2 *units* 1	0.800	s.e. 0.215
Replication 2 Cultivar 2 Fertilization 4 *units* 1	-0.669	s.e. 0.215
Replication 4 Cultivar 1 Fertilization 5 *units* 1	0.756	s.e. 0.215

Tables of means

Variate: GrainYield

Grand mean 5.874

Cultivar	1	2	3	4	5
	5.907	5.619	6.205	5.372	6.269

Fertilization	1	2	3	4	5	6
	4.860	5.458	5.854	6.155	6.296	6.624

Year	1	2	3	4
	7.547	6.351	4.156	5.444

Cultivar	Fertilization	1	2	3	4	5	6
1		4.919	5.575	5.925	6.219	6.231	6.575
2		4.606	5.231	5.706	5.856	6.025	6.288
3		5.038	5.763	6.131	6.544	6.731	7.025
4		4.537	4.938	5.319	5.612	5.788	6.037
5		5.200	5.781	6.188	6.544	6.706	7.194

Cultivar	Year	1	2	3	4
1		7.254	6.725	4.271	5.379
2		7.738	6.096	3.488	5.154
3		7.633	6.804	4.463	5.921
4		7.483	5.388	3.900	4.717
5		7.625	6.742	4.658	6.050

Fertilization	Year	1	2	3	4
1		6.155	5.305	3.495	4.485
2		7.125	5.940	3.820	4.945
3		7.635	6.280	4.170	5.330
4		7.930	6.710	4.275	5.705
5		8.020	6.780	4.530	5.855
6		8.415	7.090	4.645	6.345

Cultivar	Fertilization	Year	1	2	3	4
1	1		5.875	5.625	3.725	4.450
	2		6.975	6.300	3.950	5.075
	3		7.450	6.600	4.350	5.300
	4		7.725	7.225	4.350	5.575
	5		7.325	7.225	4.625	5.750
	6		8.175	7.375	4.625	6.125
2	1		6.475	4.875	2.825	4.250
	2		7.525	5.550	3.250	4.600

	3	7.850	6.175	3.500	5.300
	4	7.825	6.600	3.650	5.350
	5	8.325	6.425	3.825	5.525
	6	8.425	6.950	3.875	5.900
	1	5.650	5.700	3.950	4.850
	2	7.175	6.250	4.225	5.400
3	3	7.850	6.575	4.325	5.775
	4	8.175	7.250	4.600	6.150
	5	8.300	7.400	4.775	6.450
	6	8.650	7.650	4.900	6.900
	1	6.450	4.700	3.175	3.825
	2	7.000	5.125	3.550	4.075
4	3	7.450	5.350	4.025	4.450
	4	7.825	5.600	3.850	5.175
	5	7.900	5.675	4.375	5.200
	6	8.275	5.875	4.425	5.575
	1	6.325	5.625	3.800	5.050
	2	6.950	6.475	4.125	5.575
5	3	7.575	6.700	4.650	5.825
	4	8.100	6.875	4.925	6.275
	5	8.250	7.175	5.050	6.350
	6	8.550	7.600	5.400	7.225

Standard errors of differences of means

Table	Cultivar	Fertilization	Year	Cultivar	Fertilization
rep.		96	80	120	16
s.e.d.		0.0483	0.0476	0.0370	0.1085
d.f.		12	75	270	84.43
Except when comparing means with the same level(s) of					
Cultivar					0.1064

d.f.

75

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar
	Year	Year	Fertilization
			Year

rep.	24	20	4
s.e.d.	0.0864	0.0918	0.2064
d.f.	101.31	339.76	351.62

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar	0.0828		0.2053
d.f.	270		339.76

Fertilization	0.0907		
d.f.	270		

Cultivar.Fertilization			0.2027
------------------------	--	--	--------

d.f.			270
------	--	--	-----

Cultivar.Year			0.2053
d.f.			339.76

Least significant differences of means (5% level)

Table	Cultivar	Fertilization	Year	Cultivar
				Fertilization
rep.	96	80	120	16
l.s.d.	0.1052	0.0948	0.0729	0.2157
d.f.	12	75	270	84.43

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar				0.2119
d.f.				75

Table	Cultivar	Fertilization	Cultivar
	Year	Year	Fertilization
			Year

rep.	24	20	4
l.s.d.	0.1714	0.1806	0.4059
d.f.	101.31	339.76	351.62

Except when comparing means with the same level(s) of

Cultivar	0.1629	0.4038
d.f.	270	339.76

Fertilization	0.1785
d.f.	270

Cultivar.Fertilization	0.3991
d.f.	270

Cultivar.Year	0.4038
d.f.	339.76

```

791  DELETE [REDEFINE=yes] _mean, _rep, _var, _resid, _rdf, _scode
792  SCALAR _scode; VALUE=0
793  AKEEP [FACTORIAL=9] Year; MEAN=_mean; REP=_rep; VARIANCE=_var;
RTERM=_resid; STATUS=_scode
794  IF _scode .in. !(1,2)
795    AKEEP [FACTORIAL=9] #_resid; DF=_rdf
796    AMCOMPARISON [PRINT=letter,line; METHOD=duncan; DIRECTION=ascending;
PROB=0.05]\
797    Year

```

Duncan's multiple range test

Year

	Mean
3	4.156
4	5.444
2	6.351
1	7.547

	Mean	
3	4.156	a
4	5.444	b
2	6.351	c
1	7.547	d

```
798 ELSE
799     CAPTION !t('Multiple comparisons are available for tests other
than',\
800     'Fisher''s LSD, Bonferroni & Sidak tests, only if all components of
the term',\
801     'are estimated with equal efficiency and in the same stratum.')
802 ENDIF
```

M.5. Fényképmelléklet

1/a melléklet. A kisparcellás kísérlet fotói



1-2. fotó. Az őszi búza kísérlet vetése



3-4. fotó. Az őszi búza kísérlet betakarítása



5-6. fotó. Az őszi búza kísérlet betakarítása

1/b melléklet. A talajnedvesség-mérési kísérlet fotói



1-2. fotó. Bolygatatlan talajminta-vétel gravimetrikus nedvesség-meghatározáshoz



3-4. fotó. TDR-300 volumetrikus talajnedvesség-mérés



5-6. fotó. Veris 3100 talaj fajlagos elektromos vezetőképesség-mérés

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Doktori disszertációm elkészítéséhez nyújtott segítségükért szeretnék köszönetet mondani

Témavezetőmnek, **Dr. Jolánkai Márton egyetemi tanárnak** – SZIE-MKK;

Társ-témavezetőmnek, **Dr. Milics Gábor egyetemi docensnek** – SZE-MÉK;

Dr. Gyuricza Csaba egyetemi tanárnak – SZIE-MKK;

Dr. Berzsenyi Zoltán egyetemi tanárnak – KE-AKK;

Dr. Neményi Miklós akadémikus úrnak – SZE-MÉK;

Deákvári József főosztályvezető úrnak és Dr. Fenyvesi László igazgató úrnak – NAIK-MGI;

Dr. Birkás Márta egyetemi tanárnak és Dr. Kovács Gergő Péter egyetemi adjunktusnak – SZIE-MKK;

a Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézetének;

a Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Intézetének;

a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara Mezőgazdasági Gépesítési Intézetének;

Szüleimnek;

Barátaimnak és Mindazoknak, akik segítettek munkámban!