



**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**A hely-specifikus tápanyag-ellátás és az őszi búza (*Triticum aestivum L.*) mennyiségi és minőségi jellemzői közötti összefüggések vizsgálata**

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Ambrus Andrea**

**Gödöllő**

**2016**

1. melléklet

A doktori iskola megnevezése:  
Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága:  
Növénytermesztési és kertészeti tudományok

Vezetője:  
Dr. Helyes Lajos  
intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA doktora  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Kertészeti Technológia Intézet

Témavezető:  
Dr. Jolánkai Márton  
professzor emeritus, az MTA doktora  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Növénytermesztési Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagy

## 1. BEVEZETÉS

A XXI. század elején a mezőgazdasággal foglalkozó szakirodalmak legtöbbször foglalkozik az új kihívásokkal, amelyekkel szembe kell néznie a termelőnek. A kihívások tekintetében és azok sorrendjében a szerzők véleménye már eltérést mutat, azonban a környezetvédelem, fenntartható termelés, innováció, termelés hatékonyság növelése és a jövedelmezőség fogalma valamilyen formában mind megjelennek a jövő feladatai között. A környezetvédelem, a fenntartható gazdálkodás, napjainkban minden termelőre nézve kötelező érvényű. A precíziós gazdálkodás segítségével a fenntartható gazdálkodás valamennyi kritériumának képesek vagyunk megfelelni. A műholdas helymeghatározás a precíziós mezőgazdasági technológia legfőbb alkotóeleme, hiszen az üzemi gazdálkodás alapegységét, a táblát, képes táblán belüli heterogenitás alapján kezelni. A mezőgazdasági térinformatika alkalmazásával lehetővé válik a mezőgazdasági termelés alapvető eszközének a termőföldnek megismerése, a benne végbemenő folyamatok nyomon követése. A távérzékeléssel gyűjtött adatok köre egyre bővül, felhasználásuk új teret nyit a hely-specifikus technológia gyakorlatában. A távérzékeléssel gyűjtött adatok gyakorlatban való elterjedését befolyásolja az adatok ára, valamint az adatgyűjtés időpontja. Amennyiben a terméseredményről még aratás előtt információval rendelkezik a termelő, lehetősége van beavatkozásra, így növelve a hozamot.

Vizsgálataim arra irányultak, hogy a hely-specifikus tápanyag-visszapótlással a táblán belüli nagyfokú hozam és minőségi ingadozások mérsékelhetőek-e. Javaslataim célja, hogy a gazdálkodók számára elősegítsem a gazdaságos, és egyben fenntartható termelés irányába való elmozdulást.

***Kutatási hipotéziseim a következők:***

**H1:** Heterogén talajtulajdonságokkal rendelkező terület esetében, a hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatással a búza termésátlaga növelhető, valamint a kezelés hatására a parcellán belüli szórás csökken.

**H2:** Heterogén talajtulajdonságokkal rendelkező terület esetében, a hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatással a búza beltartalmi paraméterinek értéke növelhetőek, valamint a kezelés hatására a parcellán belüli szórásuk csökken.

**H3:** Az időjárás elemeinek hatása mérsékelhető a hely-specifikus tápanyag-kijuttatással.

**H4:** A távérzékelési eljárásokkal feltárható és ábrázolható a területen belüli térbeli változatosság, amelyek hozzájárul a hozam és termőhely közötti kapcsolat feltárásához.

**H5:** A hozamtérkép és a növényi vegetációs index alapján készült térkép kapcsolatban áll egymással, így a növényi vegetációs index térkép alkalmas a hozambecslésre.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### A kísérlet beállításának körülményei

Gyöngyöspata Magyarország észak-keleti részén a Nyugat-Mátra lábánál található, a Tarna és a Zagyva völgyében. A kísérleti terület Gyöngyös és Gyöngyöspata között fekszik, Gyöngyöspatától 1 km-re. A mintaterületet 160,88 ha-os táblából került kijelölésre, majd a mintaterületet táblafelezéses módszerrel két részre bontottam. A kezelt terület 20,2 ha, a kezeletlen terület 21,6 ha nagyságú. A mintaterületet É-i és K-i oldalán út és vízelvezető árok D-i oldalon vízfolyás határolja, míg nyugati oldalán magasabban fekvő sík terület veszi körül, tehát a területen végbemenő folyamatokat (víz és tápanyagok mozgása, erózió), külső tényezők nem befolyásolják. A vizsgált terület és a környező táblák talajföldrajzi képe változatos, területenként mozaikszerű, mert a kőzetminőség és a domborzat, a makro- és mezoklímák, a párolgás- és lefolyási viszonyok, valamint a vegetáció, vagyis a talajképző tényezők is viszonylag kis területen belül is jelentős változatosságot mutatnak.

A mintatérként kijelölt táblán 2006-ban történt talajmintavétel, amely alapján elkészült a terület tápanyag térképe a bővített talajvizsgálatban szereplő elemekre. A talajvizsgálati eredmények szerint a terület foszfor ellátottsága több helyen korlátozó tényezőként jelenhetett meg a termés mennyiségére és minőségére egyaránt. A kísérletben alkalmazott fajta az MV Magdaléna. A gazdaságban a technológia esetében a mulch technológiát részesítik előnyben, mely során a forgatás nélküli alapművelést, valamint a rövid tárcsát alkalmaznak.

Az első hozamtérkép 2007-ben készült. A vizsgálati eredményekből megállapítottuk, hogy területen az őszi búza termésátlaga és minősége igen heterogén. A mintaterületről az előre meghatározott GNSS pontoknál kézi mintavétellel mintát vettem a termés minőségi paramétereinek meghatározásához, valamint aratás közben rögzítettem a kombájn adatai alapján a ponthoz tartozó termésátlagot. A mintavételi pontokhoz minden vizsgálati évben visszatértem, amely lehetővé tette az adott ponthoz kötött adatok folyamatos gyűjtését és elemzését. A precíziós tápanyag-visszapótlás módszertanának megfelelően a kezelt mintaterületre hely-specifikusan juttattunk ki monofoszfát formájában a P-műtrágyát, míg a kontroll részre a hagyományos gazdálkodás során alkalmazott tápanyag-visszapótlási rendszert használtuk. A foszfor műtrágyát őszi kerül alapműtrágyaként alkalmaztuk. A nitrogént 27%-os mész-ammon-salétrom (MAS) műtrágyával 220 kg/ha-os dózisban, 59,5 kg/ha hatóanyag tartalommal juttatták ki. A területek káliummal jól ellátottak, így a Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet ajánlásának megfelelően kálium kiadása csupán a kapás kultúrák esetében történik. A tavasszal a műtrágya kijuttatása osztottan, két alkalommal történik MAS 27%-os nitrogén műtrágya

formájában, mindkét alkalommal egységesen 200 kg/ha-os mennyiségben, 54 kg/ha-os hatóanyag tartalommal.

Hozamtérkép készült (a KITE és az IKR precíziós rendszereivel) a 2008, 2011-es évben. A 2008-as év hozamtérképe is technikai hiba miatt hiányos. A 2010-es évben a hozamtérkép technikai hiba miatt nem került rá az adatkártyára, így erről az évről hozamtérképpel nem rendelkezem. Aratás közben a kombájn adatai alapján jegyzőkönyvbe rögzítettem a mintavételi pontokhoz tartozó átlagtermést, így továbbiakban ezekkel az adatokkal számoltam azokban az években, amikor technikai problémák léptek fel.

A 2007-es évben július első dekádjában, 2008-ban július második dekádjában, 2010-ben és 2011-ben július harmadik dekádjában történt az aratás. A betakarítási időpontokban elsőként a mintavételi pontokon történt mintavétel, majd a további területek aratása csak ez után kezdődött el. Ezzel biztosítottam, hogy a minták egy időpontban kerüljenek begyűjtésre és az esetleges kedvezőtlen időjárás (pl. többnapos eső) ne okozzon problémát, a minták eredményeinek egységes értékelése során. A termésmintákat SGS akkreditált laboratórium vizsgálata meg, munkám során az általuk szolgáltatott adatokkal dolgoztam. A laboratóriumi vizsgálatok 2007-ben a termény nedvességére, sikértartalmára, fehérje %-ra és Zeleny-index megállapítására irányultak, 2008-tól ezen felül az ezermagtömeg és az esésszám meghatározásával bővítettem ki a vizsgált paraméterek körét. A minták vizsgálata és értékelése MSZ szabvány szerint történt.

Az évjárathatások elemzésekor Harnos (1993) módszerét alapul véve meghatároztam a búza évjáratí minősítését. Aszályos évnek minősítettem azt az évet, amennyiben a szeptembertől júniusig lehullott csapadék mennyiség 20%-kal, aszályos nyárnak (április – június időszak alatti) és téli félév (október – március) 30%-kal, aszályos hónap esetében 50 %-kal kevesebb, mint a sokévi átlag. Az őszi búza számára évjárat szempontjából meghatározónak a szeptember – júniusi csapadékmennyiséget tekinttem. Gyuricza – Birkás (2000) paramétereit fogadtam el a száraz periódus meghatározásakor, miszerint ha az adott időszak alatt 10-20%-kal kevesebb csapadék hullik, mint a sokévi átlag, akkor száraz periódusról beszélünk. Az évjáratokat vizsgálva 2010 és 2011-ben - a 25 éves átlaghoz viszonyítva - átlagos mennyiségű csapadék hullott, 2008 aszályos év volt, míg 2007-ben az évi csapadék mennyiség (424 mm) megközelíti, az aszályos évjáratnak minősíthető 421 mm-t.

A nyári időszak alapján 2007-ben aszályos nyár volt jellemző, mivel az április – június között lehullott csapadék mennyisége csupán 145 mm volt. A 2008-ban (154 mm) 30%-kal kisebb volt a csapadék a 25 év átlagához képest, így ez is aszály közeli nyárnak tekinthető. A téli hónapokat vizsgálva 2009. október – 2010. március között 30%-nál nagyobb az eltérés a 25 éves átlagos csapadék

mennyiségéhez képest (345 mm), így ez a tél csapadékosnak minősül. A többi év esetében átlagos téli csapadékmennyiség volt jellemző.

A gyomflóra korlátozó tényezőként léphet fel a termelés során, növelve a hozam térbeli egyenlőtlenségét, ezért Balázs – Újváros (1973) módszerrel gyomfelvételezést végeztem 2011 áprilisában, megállapítottam, hogy a gyomfertőzöttség igen alacsony szintű, így a kísérlet szempontjából nem releváns.

A dolgozatban a termésminták eredményeinek statisztikai elemzéséhez IBM SPSS Statistics 18 programot használtam. A termés mennyisége és minősége és az évjáráthatás elemzéséhez varianciaanalízist alkalmaztam. A termés minőségi és mennyiségi paramétereit értékeléséhez a leíró statisztika mellett, Levenetesztesztet, variancia homogenitás vizsgálatot és varianciaanalízist végeztem. Az azonos évjáratok meghatározásához Tukey-b próbát alkalmaztam. A minták eloszlásának ismertetéséhez BoxPlot diagrammot használtam.

### **Távérzékelési alkalmazások a vizsgálatokban**

A légi távérzékelési rendszerek közül a hiperspektrális technológiára a Piper Aztec típusú repülőgépre szerelt, push-broom típusú AISA Eagle II szenzor került alkalmazásra, míg a felszín geometriai viszonyainak vizsgálatára nagy teljesítményű Leica ALS-70 HP lézereként használtunk.

Az AISA Eagle II hiperspektrális kamerával készült felvételezés a látható és a közeli infravörös tartományban (VNIR) készült. A felvételezés a teljes sáv szélességben (400-1000 nm) 4,5 nm-es mintavétellel történt, így minden egyes képpont 128 spektrális csatornát tartalmaz. A navigációs adatok rögzítését egy OxTS RT 3003 típusú, nagy pontosságú GNSS/INS rendszer végezte.

A felvételek 2012. augusztus 20-án készültek, az alábbi repülési paraméterekkel:

- repülési magasság (AGL): 1500 m
- repülési sebesség: 55 m/s
- sáv szélesség: 400-1000 nm
- sávok átfedése: 30%
- terepi felbontás: 1,5 m.

A repüléssel egy időben terepi spektrum mérés is zajlott ASD FieldSpec3 típusú terepi spektrofotométerrel, különböző homogén felszíneken, illetve ismert reflektanciájú referencia ponyván. Ezek a későbbiekben atmoszférikus korrekcióhoz kerültek felhasználásra. A hiperspektrális adatok előfeldolgozását a Specim cég által fejlesztett CaliGeoPro program segítségével történt (radiometriai és geometriai korrekció).



A légi lézershakkenelés Leica ALS-70 HP szenzorral történt. A LiDAR felvételezésből előállított Digitális Domborzati Modell (DDM) vízszintes értelemben 20 cm, magassági értelemben ~5-10 cm-es pontossággal készült. Az alkalmazott LiDAR technológia teljes jelalakos (full waveform) LiDAR rögzítő és feldolgozó rendszer. Hasznos repülési magasság: 200 – 3500 méter (AGL), effektív impulzus sűrűség: 500 KHz. Az eszköz alkalmas minimum 4 db visszaverődés detektálására és digitális rögzítésére minden kiküldött jelből és minimum 3 db visszaverődés intenzitásának digitális rögzítésére. A légi lézershakkenelt felvételek 2014 tavaszán készültek a bemutatott szenzorrendszerrel. Az felvételezés során előállított pontfelhő átlagos pontsűrűsége 10 pont/m<sup>2</sup> volt, 20%-os sávok közötti átfedés, 800 méter terep feletti repülési magasság és 50° látószög (FOV) beállítási paraméterek mellett. Munkánk során az UTM 34N és az Egységes Országos Vetületi Rendszert (EOV) használtuk. A hiperspektrális felvételek feldolgozása ENVI/IDL 5.0 szoftverkörnyezetben történt. A vegetációs indexek további értékelését ArcGIS 10.1 programmal végeztük el. A LiDAR adatokból készített DDM, valamint a hozamtérkép további feldolgozása az ArcGIS 10.1-es programmal történt. A statisztikai elemzésekhez IBM SPSS Statistics 18 programot használtuk. A nedves biomassza tömeg meghatározásához terepi mintavétel történt a hiperspektrális légi távérzékeléssel egy időben. A mintavételi pontokat RTK segítségével rögzítettem, majd megmértem az egy négyzetméterre jutó nedves biomassza tömegét. Az így kapott adatok a hiperspektrális felvétel eredményeinek osztályozásához járultak hozzá.

A terepi mintavételi pontokat megjelenítettem a területről készült Digitális Domborzati Modellen. NDVI meghatározáskor a NIR és a vörös sávok kombinációját alkalmaztam. Az NDVI és a területen vett minták közötti kapcsolat kimutatásra IBM SPSS Statistics 18 program segítségével regressziós vizsgálatot végeztünk.

### 3. EREDMÉNYEK

#### Évjáráthatás vizsgálata

A 2007-es év termésátlaga 3,64 t/ha volt, amely a vizsgált évek közül a legalacsonyabb. A minimum és maximum értékek 3,26-4,02 t/ha között mozogtak, a szórás 1,05 t/ha volt. Az időszak aszályhoz közelinek tekinthető, ezáltal a termésátlag alacsonyabb lett, mint az átlagos években, de a termés minősége kiemelkedő volt a többi évhez viszonyítva.

A legmagasabb termésátlagot a 2008-as évben mértük 4,48 t/ha-os értékkel. 2008 aszályos évjáratnak számít, a vizsgált időszakban ekkor hullott a legkevesebb csapadék. Ennek ellenére a legmagasabb termésátlagot sikerült elérni ebben az évben. A 2008 év márciusában és áprilisában összesen 111 mm csapadék hullott. Az átlagos évjáratok ugyanezen időszakában lehullott csapadék mennyisége egyik évben sem érte el a 2008 ugyanezen időszakában mért adatokat, sőt ez az érték a 25 évi átlagos csapadékmennyiségnél is 44%-kal volt magasabb. A 2008 évi magas hozamot – annak ellenére, hogy száraz évjáratnak tekinthető – véleményem szerint a március-április hónapok csapadékmennyisége határozhatta meg. Ezt támasztja alá Szabó et al. (1996) munkája, miszerint a csapadékoptimum 40%-át a növény márciustól igényli, a legnagyobb vízfelhasználás április 10. és május 10. közé esik.

A 2010 és a 2011-es év átlagos évjáratnak tekinthető. Ezekben az években termésátlagok tekintetében jelentős eltérés nincs, hiszen 2010-ben 4,03 t/ha-os, 2011-ben 4,00 t/ha-os termésátlagot mértem hasonló szórás értékek mellett. A termésátlag legnagyobb standard szórása a 2007-es (1,0490) és a 2008-as (1,0719) évben volt kimutatható, tehát az aszályos és az aszályhoz közeli évek esetében a hozam szórása nagyobb, mint átlagos évjáratok esetében. Mindkét év aszályhoz közeli (2007), vagy aszályos volt (2008), a száraz periódusok egyaránt jellemzőek voltak a nyári hónapokra. A csapadék hiánya stressz okozhat a növény számára, amely heterogén talajok esetében – a változatos talajtulajdonságok miatt – jobban érvényre juthat a talaj vízraktározási és vízszolgáltató képességein keresztül, ezért a csapadék szempontjából szélsőséges évjárat esetében a talaj vízraktározó képessége a hozamon keresztül érzékelhetővé válik.

Az ezermagtömeg értékében és szórásában sem tapasztaltunk jelentős különbséget a mért három év adatai között, értéke 40,30 g – 41,72 g között mozgott 1,80 – 1,44 szórás értékek mellett. A nedvesség esetében a 2007-es és a 2008-as évben volt a legalacsonyabb érték betakarításkor (2007-ben 13,53%, 2008-ban 11,98%) az átlagos évjáratú évek esetében ez az érték magasabb volt (2010-ben 14%, 2011-ben 13,83%).

Az évjáratok közül kiugró a 2007-es év, amikor a sütőipari minőséget meghatározó minőségi paraméterek a többi évhez képest is kiemelkedő értékeket produkáltak. A 2007-es évben a Zeleny-index átlaga 69,49, 3,44 standard szórás mellett. A kiemelkedő Zeleny-index érték a száraz évjáratnak köszönhető, amely a termésátlagra negatív hatással volt. Az alacsonyabb termésátlaghoz kiemelkedő minőség párosult. A Zeleny-index mellett a sikér % és a fehérje % is ebben az évben volt a legmagasabb. A sikér átlagosan 33,83 % volt (szórása: 3,69; minimum értéke: 32,50, maximum értéke: 35,16). A fehérje esetében is a legmagasabb értékeket 2007-ben mértük: 17,17 % (szórás: 1,21).

Valamennyi minőségi paramétert tekintve a 2007-es év után az aszályos 2008-as évben mértük a legmagasabb értékeket. A csapadék hiánya a minőségre pozitív hatást gyakorolt. Bár a 2007-es és a 2008-as év is aszályhoz közeli illetve aszályos volt, a 2007-es év minőségét véleményem szerint az határozta meg alapvetően, hogy bár hasonló az évjárat a 2008 évhez képest, de a csapadék eloszlásában különbség tapasztalható. A 2008 évi március-május hónapokban lehullott 141 mm csapadék a termésmennyiségre pozitív hatást gyakorolt. A 2007 évben ugyanezen időszakban száraz időszak volt jellemző, aminek következtében a termésátlag a vizsgált időszak legalacsonyabb értékét mutatta (3,63 t/ha). Az alacsonyabb hozam tette lehetővé a műtrágya jobb hasznosulását és a tápanyagok jobb beépülését a szembe.

Varianciaanalízis alapján megállapítható, hogy valamennyi év adatai (kontroll és kezelt parcella eredményei együtt vizsgálva) szignifikánsan eltérnek egymástól. A nedvesség tartalom, fehérje %, sikér %, Zeleny-index esetében a szignifikáns eltérés értéke  $\leq 0,001$ ; míg termésátlag, ezermagtömeg és esésszám esetében a szignifikáns különbség értéke  $\leq 0,01$ .

A termésátlagra lefuttatott Tukey-b próba eredményei szerint a 2007 és a 2008-as év szignifikánsan eltér egymástól. A 2011 és a 2010-es év köztes értékeket mutat és egymástól nem térnek el szignifikánsan, azaz hasonló évjárat a hozam szempontjából. A Tukey-b próba nedvesség tartalom esetében minden évben szignifikáns különbséget mutatott. A termény nedvessége igen változatos lehet, függ az adott évjárat csapadék mennyiségétől, annak eloszlásától, különös tekintettel az aratás előtti csapadéokra. Az aszályos vagy aszályhoz közeli évjárat (2008, 2007) esetében volt a legalacsonyabb nedvességtartalma a búzának, amely az aratás előtti száraz periódusnak köszönhető. A fehérje % esetében valamennyi év szignifikánsan különbözött egymástól. Sikér % vizsgálata alapján a 2007-es és a 2010-es év szignifikánsan eltér egymástól, 2008 és 2011 közbülső értéket mutat. A legalacsonyabb 2010-ben, a legmagasabb 2007-ben volt. A Zeleny-index esetében látható a legmarkánsabb hatása az évjáratnak. A 2007-es aszályos év kiemelkedő értéket produkált és szignifikánsan eltér valamennyi évtől. A 2010 és a 2011-es átlagos évjárat hasonlóknak mondható a Zeleny-index tekintetében. A 2008-as csapadékos évjáratú év szignifikánsan eltér a 2010-2011 és a 2007-es évtől.

## **A 2007-es kísérleti év elemzése**

A 2007-es évben a kezelt és kezeletlen parcella kijelölése megtörtént, de kezelés ebben az évben még nem volt, így az ez évi adatok a terület kiinduló állapotáról adnak tájékoztatást. A minták minőségi és mennyiségi változását – mivel a technológia és az évjáráthatás konstans paraméterként értelmezhető – alapvetően a talajtani adottságok (tápanyag-szolgáltató képesség, fizikai tulajdonságok, vízháztartási jellemzői) befolyásolják. Az alapmintavétellel célunk az volt, hogy a kezelés előtt képet kapjunk a termésen keresztül a talaj-növény kapcsolatrendszeréről.

A kezelésre kijelölt és a kontroll területeken a 16-16 mintavételi pont eredményeit alapján megállapítható, hogy a termésátlag tekintetében a kontroll parcella (4,00 t/ha) 12%-kal magasabb termésátlagot produkált, mint a kezelésre kijelölt parcella (3,27 t/ha). A szórás tekintetében a kontroll parcella 1,10 standard szórást, míg a kezelésre kijelölt parcella 0,89 standard szórást mutatott. Megállapítható, hogy a két terület - bár egyazon táblán került kijelölésre – azonos technológia mellett is különbséget mutat a hozameredmények alapján. Nedvességtartalom tekintetében nem találtam jelentős különbséget a két parcella adatai alapján. A kezelésre kijelölt parcella 12,9% -14,3% között -, míg a kezelésre kijelölt parcella 12,9%- 14,1% között mozogott. A fehérje esetében a kezelésre kijelölt parcella átlagosan 17,44 % volt jellemző (1,09 szórás mellett), míg a kontroll parcella 16,9 %-os átlagos értéket mutatott (1,30 szórás mellett). A minőségi jellemzők tekintetében, valamennyi minőségi paraméter (fehérje %, Zeleny-index, sikértartalom) az alacsonyabb termésátlagú kezelésre kijelölt parcella esetében volt magasabb, de nagyobb szórás mellett. A 2007-es év nyara aszályosnak tekinthető, hiszen a 25 évei átlag csapadék mennyiséghez viszonyítva a csapadék csupán 67%-a esett az április-június időszakban, amely a termés mennyiségre negatív hatást gyakorolt. Az aszályos nyárnak és az alacsony hozam együttes hatásának köszönhető a termés kimagasló minősége a vizsgált évekhez képest.

A varianciaanalízis eredményei szerint szignifikáns különbség csak a termésátlag és a siker % esetében tapasztalható. Nedvességtartalom, fehérje %, Zeleny-index esetében a kezelésre kijelölt és a kontroll parcella eredményei homogének.

## **A 2008-as kísérleti év elemzése**

A kezelés első éve aszályos évjáratnak minősíthető, hiszen az átlagos csapadék mennyiség 30%-kal kevesebb volt, mint a 25 éves átlag. A csapadékmennyiség eloszlására jellemző, hogy a 2008 március-április hónapokban lehullott csapadék mennyisége - az aszályos évjáráthoz képest némi ellentmondásban - a

25 éves átlagos mennyiség 144%-a volt, amely csapadék pozitív hatást gyakorolt a termés mennyiségére.

A termésátlagot vizsgálva elmondható, hogy a kezelt parcella termésátlaga 4,55 t/ha volt (3-6,8 t/ha minimum és maximum értékek mellett). A kontroll parcella termésátlaga alacsonyabb, 4,40 t/ha volt (95% konfidencia intervallum mellett 3,94 t/ha és 4,86 t/ha-os értékek között mozogtak a minimum és maximum értékek). Az ezermagtömeg esetében a kezelt és kezeletlen parcella között nem találtam jelentős eltérést. A nedvességtartalom a kontroll parcella esetében 12,06 %, a kezelt parcella esetében 11,91 %-volt. A fehérjetartalom értékei között érdemi különbség nem tapasztalható a kezelt és a kontroll parcella között.

A sütőipari minőségek már változatosabb képet mutattak. Valamennyi minőségi paraméternél a kezelt parcella értékei magasabbak. A siker 30,24 % a kezelt parcellánál és 29,46 %-a kontroll esetében. A minimum és maximum értékek 95%-os konfidencia intervallum mellett a kezelt parcellán 29,52 %-30,96 % között, míg a kontroll parcellán 28,65 %-30,28 % között változtak. A Zeleny-index érzékenyebben reagált a kezelésre, ezt mutatja, hogy a kezelt parcella 52,13 értéke 5,40 szórás mellett alakult ki. A 95 %-os konfidencia intervallumnál 49,20-55,01-os értékek között mozogtak a minták eredményei. A kontroll parcella esetében a 95 %-os konfidencia intervallumnál 47,95-50,92-os értéket vettek fel a terméyminták minimum és maximum értéke a Zeleny-indexre. A kontroll parcella átlaga 49,49, amely 5%-kal alacsonyabb, mint a kezelt terület átlagos Zeleny-indexe. A kontroll parcella standard szórása 2,79. Bár szignifikáns különbség nem mutatható ki a kezelt és a kontroll parcella között, de a szórások alapján látható, hogy itt is a magasabb átlagos értéket elért kezelt parcella esetében nagyobb a szórás a kontroll parcellához viszonyítva, tehát a szórás a kezelés hatására növekedett. Az esésszám tekintetében is a 292,19-es magasabb értéket a kezelt parcella tudta elérni, 10,83 standard szórás mellett. A kontroll parcella 279,50 átlagos esésszámot mutatott 22,39 standard szórás mellett. Ebben az esetben a kezelt terület a magasabb átlagos esésszám értéket alacsonyabb szórás érték mellett tudta elérni. A kezelt parcella 95 %-os konfidencia intervallum mellett 286,41-297,96 érték között mozgott a minimum és maximum érték, míg a kontroll esetében 267,57 -291,43 között mozgott a minimum és maximum érték. A varianciaanalízis alapján megállapítható, hogy a kezelt és a kontroll parcella között az első évi hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatás után szignifikáns különbség mutatható (0,05 %-os szignifikancia szint mellett) nedvesség %, a fehérje % és esésszám esetében. A kezelt és kontroll területen begyűjtött minták termésátlag, ezermagtömeg, siker % és Zeleny-index tekintetében szignifikánsan nem különböznek.

A vizsgálati év eredményei szerint, az aszályos évjárat esetében a termés minőségi paraméterei viszonylag egységesek, a kezelt és a kontroll parcellán egyaránt, ezt alátámasztja az alacsony F érték is.

## A 2010-es kísérleti év elemzése

A 2010-es év a kezelés második éve volt, a csapadék mennyisége alapján átlagos évjáratnak tekinthető. A terméshozam a 2007-es és 2008-as évekhez képest magasabb volt, a kezelt területen átlagosan 3,98 t/ha volt 0,71 standard szórás mellett, míg a kontroll terület magasabb terméseredményt mutatott 0,34 standard szórással. Az ezermagtömeg értékei között jelentős eltérés nem tapasztalható. Kezelt területen 41,81, míg a kontroll területen 41,63 volt. A nedvességtartalom a kezelt területen nem mutatott jelentős változatosságot. A kezelt területről learatott gabona átlagos nedvesség tartalma 13,85% volt, 0,24 standard szórás mellett, míg a kontroll esetében a nedvesség 14,16% volt, 0,23 standard szórás mellett. A fehérje % adatait vizsgálva a kezelt parcella mintái magasabb átlagos fehérje mennyiséget mutattak (12,38%), mint a kontroll parcelláról származó minták. A kezelt terület mintáinak a fehérje %-a 95%-os konfidencia intervallum melletti 11,95% – 12,80% minimum és maximum értékek között mozgott. A kontroll parcella esetében ezek az értékek 11,25% - 12,25% között mozogtak. A siker % átlagos értékei, a fehérje %-hoz hasonlóan – a kezelt parcella termésének volt magasabb 27,76%. A kontroll parcellán termelt búzának 26,70 % volt az átlagos sikértartalma. Az kezelt és a kontroll terület siker %- a közötti eltérés nem jelentős. A Zeleny-index esetében a két parcella hasonlóan teljesített. A kezelt parcella mintáinak eredménye 95%-os konfidencia intervallum mellett 42,67 minimum és 45,67 maximum érték között, míg a kontroll parcellán 40,93 – 44,30 értékek között mozogtak. Átlagos csapadék mennyiségű évjárat esetén a kezelés hatására a Zeleny-index esetén nem tapasztaltam a kezelt és a kontroll terület között jelentős eltérést. Az esésszám esetében is a többi minőségi paraméterhez hasonlóan a kezelt parcellán termelt búza értékei voltak magasabbak, itt az átlagos esésszám 271,81 volt, míg a kontroll parcella esetében ez az érték 268,13. A 2010-es évről megállapítható, hogy a nedvesség % és egyes minőségi paraméterek tekintetében volt eltérés a kezelt és a kontroll terület között. Az átlagos évjárat a termés minőségi paramétereinek egy részét kiegyenlítettette, az alacsonyabb termésátlagot mutató kezelt parcella esetében a fehérje %, siker %, Zeleny-index, az esésszám egyaránt magasabb volt.

A varianciaanalízis adataiból megállapítható, hogy kezelés hatására szignifikáns különbség (0,05 %-os szignifikancia szint mellett) a nedvesség % és a fehérje % között volt kimutatható. A termésátlag, ezermagtömeg, siker %, Zeleny-index és az esésszám tekintetében a kezelés hatására szignifikáns eltérés nem volt kimutatható.

## A 2011-es kísérleti év elemzése

A vizsgált időszak utolsó éve (2011) évjárat szempontjából – csakúgy, mint a 2010-es év - átlagos volt. A hozam esetében a kezelt parcella termésátlaga alacsonyabb volt, mint a kontroll parcelláé. A 2011-es évben az átlagtermése

3,78 t/ha volt a kezelt parcellának, a kontroll parcellának 4,22 t/ha. A kezelt parcella 95%-os konfidencia intervallum mellett 3,39 t/ha minimum és 4,16 t/ha maximum értékek között mozgott, a kontroll parcella esetében 4,08 t/ha minimum és 4,36 t/ha maximum értékek között mozogtak a minták. Az ezermagtömeg esetében jelentős különbséget nem tapasztaltam a kezelt és a kontroll parcella között. A nedvességtartalom esetében is elmondható ez, ahol a kezelt parcella 13,74, a kontroll parcella 13,93 átlagos értéket mutatott, hasonló standard szórás mellett. A fehérje % értéke a kezelt területen volt magasabb, 13,71% 1,23 standard szórás mellett. A minták 95%-os konfidencia intervallum mellett 13,57% - 13,91% között oszlottak meg. A kontroll parcella átlagos fehérje %-a 12,58% volt, 0,44 standard szórás mellett. A minimum értéke 95%-os konfidencia intervallum mellett a fehérje %-nak 12,34%, míg a maximum 12,81% volt. A siker % esetében is a két parcella hasonló értékeket ért el. A kezelt parcella átlagos sikértartalma 29,48%, míg a kontroll parcella 28,23%. A kezelt parcella esetében ismét nagyobb a szórás értéke (1,47). Amennyiben megvizsgáljuk a minták minimum és maximum értékét 95%-os konfidencia intervallum mellett, akkor látható, hogy a kezelt parcella 28,70%-30,27% között mozgott, addig a kontroll parcella 27,83%-28,63%-os minimum és maximum értékek között változott. A Zeleny-index tekintetében a kezelt parcella 2,22 standard szórás mellett 45,76 átlagos teljesítményt mutatott, a kontroll parcella 43,54 értékével szemben. A kontroll parcella szórása 2,58 volt, így a szórás között jelentős eltérés nem tapasztalható. A legérzékenyebben, csakúgy, mint az előző években az esésszám reagált a kezelésre. A kezelt parcella átlagos esésszáma 258 volt, míg a kontroll parcella 247,50-es értéket ért el. A standard szórások között jelentős eltérést tapasztaltam. A kezelt parcella standard szórása 9,30 a kontroll parcella ugyanezen paramétere 34,17, amely azt jelenti, hogy a kontroll parcella esésszám tekintetében igen heterogén. Ezt támasztja alá a 95%-os konfidencia intervallumban 229,29 minimum és 265,71 maximum érték. A varianciaanalízis alapján megállapítható, hogy a 2011-es évben (0,05 %-os szignifikancia szint mellett) szignifikánsan eltért a kezelt és a kontroll parcella termésátlag, nedvességtartalom, fehérje %, siker %, Zeleny-index és esésszám esetében, míg az ezermagtömeg nem mutatott szignifikáns eltérést.

## **Kezelések hatása**

A hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatása a termésátlagra gyakorolt hatása nem egyértelmű. Az aszályos 2008-as évben a kezelt terület termésátlaga 4,55 t/ha volt 1,27 standard szórás mellett, míg a kontroll parcellán 4,40 t/ha-os átlagot értünk el, a melynek standard szórása 0,87 volt. A két terület közötti átlagos termésátlag eltérés csupán 2% volt. A szórást vizsgálva megállapítható, hogy foszfor műtrágya helyspecifikus kijuttatásával aszályos évben a termésátlag szórása nem csökkent. A termésátlag térbeli változatosságának okát a talajtani adottságok határozhatják meg, amelyek közül is a talaj vízháztartási jellemzői lehetnek a legnagyobb hatással a termés mennyiségére. Ezt támasztja

alá, hogy a termésátlagokat tekintve a kezelt parcellán alacsonyabb lett a termésátlag átlagos évjáratokban. A 2010-es évben a kezelt területen 3,98 t/ha, a 2011-es évben 3,78 t/ha –os volt a termésátlag, míg a kontroll parcellán 2010-ben 4,09 t/ha, 4,22 t/ha 2011-ben. A különbségeket vizsgálva jól látható, hogy azok a vizsgált átlagos évjáratokban sem jelentősek a termésátlagok vonatkozásában. A három év átlagát tekintve a termésátlag kezelt területen 4,10 t/ha 0,97 standard szórás mellett, míg a kontroll parcella esetében 4,24 t/ha, amely érték standard szórása 0,56. Amennyiben a 2007-es alapmintavétel évét megvizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy a két parcella között termésátlagban 31%-kal a kontroll parcella átlaga volt magasabb, a kezelésre kijelölt terület standard szórása 0,89, míg a kontroll terület 1,10 standard szórással rendelkezett. A 2007-es év átlagterméséhez viszonyítva tehát a hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatása után, a kezelt és a kontroll parcella közötti termésátlag különbség csökkent. Mindezek mellett megállapítható, hogy a kezelés hatására a szórás nem csökkent a termés mennyiség tekintetében, hanem a kontroll parcellához képest is növekedett. Ez azt jelentheti, hogy a területen vannak olyan talajfoltok, ahol a talajtani, mikrodomborzati adottságok lehetővé teszik a hozam növelését, de bizonyos részek esetében a hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatása nem indokolt, mivel a hozamon keresztül a többlet ráfordítás nem térül meg. Az okok feltárására további vizsgálatok indokoltak.

A mintavételi pontok vizsgálati eredményei azt mutatták, hogy a kontroll terület 17, 18, 19, 20-as pontjai termésátlag tekintetében jóval kiegyenlítettebb eredményt mutattak, mint a parcella többi pontja. Ez a megállapítás különösen igaz a 2008-as aszályos évre. Mivel az évjárat, a technológia és a fajta is konstansnak tekinthető adott évben, valószínűleg a talaj valamely tulajdonsága (mikrodomborzat, fizikai tulajdonsága) befolyásolja a hozamot.

A variancia analízis eredménye szerint, a kezelt parcellák esetében a 2008-2011-es évben a termésátlag és ezermagtömeg tekintetében szignifikáns különbség nem volt kimutatható a kontroll és a kezelt parcella esetében sem. Szignifikáns különbség mutatható ki a nedvességtartalom, fehérje %, sikér %, Zeleny-index és az esésszám esetében a kontroll és a kezelt területen egyaránt. A szignifikáns eltérések és azok foka, azt jelzi, hogy a kezelés három év évjáratát a búza minőségi paramétereire jelentős hatást gyakorolt. A minőségi értékek vizsgálatakor a szignifikáns különbségek nem ennyire robusztusak azonos évjárat vizsgálatokor.

A termésátlagot tekintve a vizsgált három évben a kezelt és kontroll parcella esetében sem volt szignifikáns különbség az évek között. A kezelt parcella mindhárom éve (2008, 2010, 2011) homogén volt ezermagtömeg szempontjából. A nedvesség % adatait vizsgálva a kontroll parcella esetében megállapítható, hogy mindhárom év szignifikáns különbséget mutat. A kezelt parcella esetében a 2010 és 2011-es év hasonló volt egymáshoz, de mindkét év szignifikánsan különbözött a 2008-as évtől. A fehérje % eredményeit tekintve



megállapítható, hogy a kontroll parcella mindhárom éve szignifikánsan különbözött egymástól, míg magasabb értékekkel a kezelt terület esetében a 2011 és a 2008-as év szignifikánsan nem különbözött egymástól, míg mindkét év szignifikáns különbséget mutatott a 2008-as év eredményeitől. A fehérje %-hoz hasonló eredményt kaptam a siker % értékeire is. A kontroll terület mindhárom vizsgált évben (2008, 2010, 2011) szignifikáns eltérést mutatott, míg a kezelt terület esetében a 2011 és a 2008-as év nem különbözött szignifikánsan egymástól, de szignifikáns eltérést mutattak a 2010-es év adataihoz képest. Zeleny-index értékei szemlélteti a kontroll parcella és a kezelt parcella is megegyezik, hiszen a 2010 és a 2011-es év hasonló volt (szignifikánsan nem tértek el egymástól) Zeleny-index tekintetében, még a 2008-as év szignifikáns eltérést mutatott a 2010 és a 2011-es évtől egyaránt. A 2010 és a 2011-es év évjárat szempontjából átlagos volt, míg a 2008-as év aszályos évjáratnak tekinthető. A Zeleny-index esetében a kezelt és a kontroll parcella eredményei arra engednek következtetni, hogy bár a kezelés emelte a minőséget, de az évjárat hatás erőteljes befolyásoló tényező a Zeleny-index értékének kialakulásánál. Az esésszámra elvégzett Tukey-b próba szerint a kezelt terület eredményei magasabbak valamennyi évben a kontroll terület mintáinál mért értékeknél. A kontroll terület esetében a 2010 és a 2008-as év között szignifikáns eltérés nem mutatható ki, de a 2008-as és 2010-es évtől szignifikánsan eltér a 2011-es év. A kezelt parcellák esetében a 2011-es és a 2008-as év között nem mutatható ki szignifikáns eltérés esésszám tekintetében, míg ezektől az évektől a 2010-es év szignifikánsan eltér. A kontroll és a kezelt parcella esetében száraz évjárat hozta a legjobb esésszám eredményt, az átlagos évjáratok esetén különbség mutatkozott a kezelt és a kontroll parcella között.

A kezelés tehát a hozamra nem gyakorolt egyértelmű pozitív hatást, átlagos évjárat esetében alacsonyabb termésátlagot mértem. A szórást vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a kezelés hatására nem csökkent a hozam szórása, hanem a kontroll parcellához képest is emelkedett. A kontroll és a kezelt parcella termésátlaga közötti különbségek mérséklődtek.

A kontroll parcella és a kezelt parcella termését vizsgálva megállapítható, hogy a nedvességtartalom tekintetében a 2008-as év egyformán alacsony értéket produkált. A kontroll parcella 12,06 %-ot és a kezelt parcella 11,91 %-ot, amely értékek az aratás előtt száraz periódusnak köszönhetőek. Az átlagos évjáratú évek esetében magasabb nedvesség tartalom mellett került betakarításra a termés, de a kezelt parcellán magasabb szórással. A nedvesség tartalom szórását valószínűleg az okozta, hogy nem aszályos évjárat esetén a terület mikrodomborzati adottságai jobban hatással vannak a búza betakarításkori nedvességtartamára.

A fehérje tartalom változása esetén a helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatása után a kezelt terület minden vizsgált évben magasabb eredményeket ért el, mint a kontroll területen learatott búza. Száraz évjárat esetén (2008) a minták szórásának értéke csaknem megegyezik. (kontroll parcella standard szórása:

0,48, kezelt parcella standard szórása: 0,58). Átlagos évjárat esetében nem vonható egyértelmű következtetés a minták standard szórása és az évjáráthatás összefüggése között. A legnagyobb értéket a sikér % a 2008-as aszályos évben ért el, kontroll (29,46%) és a kezelt parcella (30,24%) esetében egyaránt. A hely-specifikus foszfor kijuttatása utána kezelt parcella minden évben magasabb sikér %-ot ért el, mint a kontroll parcella, de jóval nagyobb szórás mellett. A szórás növekedése indikálja a talajtani változatosságokat, tehát vannak olyan helyek, ahol a kijutatott foszfor jól tud hasznosulni és így emelkednek a minőségi paraméterek.

A Zeleny-index értékeinek vizsgálata során a kontroll parcella és a kezelt parcella eredményei alapján megállapítható, hogy minden évben a kezelt parcella Zeleny-index értékei voltak magasabbak. A Zeleny-index esetében is elmondható, hogy mint minden sütőipari minőségi paraméter a csapadék mennyiségére és annak eloszlására érzékenyen reagál. A sütőipari minőségi paraméterek közül a legintenzívebben az esésszám reagált a kezelésre. Mindhárom vizsgálati évben (2008, 2010, 2011) a kezelt parcella magasabb értékeket produkált, mint a kontroll.

A minőségi paraméterek közül, a fehérje %, sikér %, standard szórása a kezelés hatására a vizsgált években magasabb volt, mint a kontroll parcellán mért szórás, csakúgy, mint a minőségi paraméterek értékeinek átlaga. A minőségi paraméterek értékei a helyspecifikus kezelés hatására nem mutattak egyértelmű standard szórás csökkenést, de a minőségi értékek átlaga minden évben magasabb volt, mint a kontroll parcellán. Ez azt jelenti, hogy a területre helyspecifikusan kijutatott foszfor műtrágya bizonyos helyeken pozitív hatást gyakorolt a minőségi értékekre, de voltak olyan foltok, ahol valószínűleg talajtani tulajdonság (vízháztartási jellemzők, tömörödöttség, mikrodomborzat) akadályozta a termésbe való beépülését. Heterogén talajadottságú területen tehát, a hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatása nem csökkent, hanem növeli a búza fehérje %, sikér %, átlagos értékét és azok standard szórását a kontroll parcellához képest, ahol hagyományos tápanyag-kijuttatási technológiát alkalmaztam. Megállapítható, hogy a műtrágya hasznosulását egyéb talajtani tényezők is befolyásolhatják, amelyek feltárására további vizsgálatok szükségesek. A vizsgálati eredmények tükrében lehetőség nyílik tovább finomítani a hely-specifikus tápanyag-kijuttatási térképeket.

### **Nagy felbontású légi távérzékelés adatok alkalmazhatóságának vizsgálata**

A 2011-ben légi távérzékeléssel nyert nagy pontosságú LiDAR adatokat a hozamtérképpel való összehasonlítás érdekében a 2011-es évben készült hozamtérképet azonos formátumúvá transzformáltuk. Az összehasonlítás szempontjából az raszterek mérete 10×10 m. A raszter nagyságát a hozammérővel felszerelt kombájn mintavételi területe alapján került meghatározásra. Minden raszter egy átlagminta értékét tartalmazza. A 10 m-es

felbontásra számított termésátlagok 1,1-6,3 t/ha értékek között változtak. Az erőgép GNSS rendszere által készített domborzati térkép 1,5 m-es lépésközű, amely ugyan megmutatja a terület lejtőviszonyait, azonban ezekkel az eszközökkel nem készíthető pontos Digitális Domborzati Modell, ezért ezeket az adatok a további vizsgálatokból kizárásra kerültek.

Az osztályozott lézershízelmet pontfelhőből digitális terepmodellt állítottunk elő amelyen jól vizsgálhatóak a terület lejtésviszonyai. A későbbiekben az eredetileg UTM34N koordináta rendszerben és ellipszoid feletti magassági adatokat Balti feletti magassági értékeké számítottuk át. A vizsgált területen a DTM alapján számított magassági értékek 155,82 -190,44 m-re között változtak.

A DDM-ből számított lejtőviszonyok, ahol világos sávban markáns vonalként megjelentek a nagyobb lejtéssel rendelkező részek. A lejtő szög képpontjainak számításakor bilineáris interpolációt alkalmaztunk. A felbontás kiválasztásánál különböző beállításokat teszteltünk 0,2-től 5 m-ig. A további feldolgozásra az 1 m-es felbontást választottuk, mert az ennél részletesebb adat esetében, a felszíni érdességi viszonyok és a pontfelhő szórása (átlagosan 2-6 cm) miatt, túl „zajos” volt az interpolált terepmodell. Az 1 m-nél nagyobb cellaméretetek esetében eltűntek a felszíni lefolyás szempontjából fontos felszíni formák. Az akkumulációs zónák megmutatják a terület mely részén folyik össze a leesett csapadék, a víz lefolyásának szögét és a vízfolyás hosszát a területen. A lefolyási csatornák lehelyezkedése a mintaterületen megmutatta, hogy a magasabban fekvő É-K-i részen kevés akkumulációs zóna található, tehát a csapadék nem folyik el az alacsonyabb részek felé, így lehetősége van a talajnak a víz raktározására, amelyből következik, hogy kisebb a talaj- és tápanyagveszteség. Azoknak a talajfoltoknak, amelyek magasabban fekszenek és kevés akkumulációs zóna helyezkedik el rajtuk, az aszályérzékenysége alacsonyabb, mint azoknak a részeknek, amelyek lejtősek és sok akkumulációs zóna található rajtuk. Ilyen esetben a területre érkező víz elfolyik, így nem képes raktározódni. Csapadékos évszám esetén – talajtani adottságoktól függően – a magasabban fekvő, lefolyástalan területeken viszont a belvíz kialakulásának a veszélye is nagyobb lehet.

A terepi heterogenitás számítására 10\*10 m-es felbontású fedvényt alkalmaztunk. Az így számított fedvény terepi felbontása megegyezik az erőgép által szolgáltatott legjobb terepi felbontású adattal. Minden egyes cellára kiszámítottuk az átlagot (x) és a szórást (s). A becsült termésmennyiség és a szórás együttes vizsgálatával meghatározhatóak azok a területek ahol nagy a területi inhomogenitás. A továbbiakban arra kerestünk magyarázatot, hogy a domborzati viszonyok változékonysága hogyan magyarázza a termésben található területi eltéréseket. Megvizsgáltuk, hogy a DDM-ből a 10×10 m-es cellákra számított rétegek (DDM lejtő átlag és szórás, flowacc átlag és szórás) és a hozam között milyen statisztikai kapcsolat van. Egyetlen független változó

alkalmazása esetén az átlaglejtő értékek és a hozam között volt gyenge statisztikai kapcsolat ( $R^2 = 0,51$ ). A lineáris modell számításakor a „flow accumulation” és a lejtő értékek (mint független változók) együttes alkalmazásával valamivel szorosabb statisztikai kapcsolat volt a terméstérképpel ( $R^2 = 0,56$ ), de jelentősen nem változtatta az eredményeket. A nagy felbontású légi távérzékelte felvételek elemzésével lehetőség volt a táblán belüli inhomogenitás becslésére. A hiperspektrális légi felvételekből számított modell segítségével nagy terepi felbontással (1 m) becsülhető volt az őszi búza termésének térbeli változékonysága. A mintavételi pontosságnak köszönhetően, a szűk keresztmetszetű eróziós árkok is pontosan kirajzolódtak a vegetáció térképen. A hiperspektrális felvételek 1 m-es felbontása alkalmas a terület térbeli pontos megismerésére. A LiDAR adatokból számított lejtőtérkép alapján meg lehet határozni azokat a területeket ahol az erózió hatása miatt jelentősebb tápanyagvesztés és kedvezőtlenebb vízgazdálkodási tulajdonság alakul ki a talajban. A biomassza térképpel összevetve is kimutatható volt a lejtő hatása a termésmennyiségre a lejtős területen.

Az akkumulációs zónák megmutatják a területen a víz mozgásának irányát és a lefolyás hosszát, amelyből további elemzéssel meghatározhatók az eróziós barázdák. Az aszályérzékenységre a domborzati és talajtani viszonyok jelentős hatást gyakorolhatnak. Az aszályérzékenység meghatározásakor a talaj vízraktározó képességének kiemelt szerepe van. A talaj vízraktározó képessége talajműveléssel javítható ugyan, de a domborzat hatása nem kiküszöbölhető. A termésbiztonság tehát változatos domborzati adottságok esetén, megfelelő agrotechnika mellett is talajfoltonként megtarthatja változatosságát. Az aszályérzékenységen keresztül meghatározhatók azok a talajfoltok, ahol az ökológiai adottságok nem teszik lehetővé a kijuttatott tápanyag megfelelő hasznosulását. Ezen zónák termésbiztonsággal való kapcsolata évről-évre változatosságot mutathat, hiszen a talaj vízkészlete, valamint a víz mozgási dinamikája évről-évre eltérő. Az aszályérzékenység hely-specifikus ismerete a kijuttatandó tápanyag mennyiség meghatározását tehát módosíthatja.

### **Biomassza térkép számítása hiperspektrális vegetációs index alapján**

A hozam és a vegetációs térkép közötti szoros kapcsolat feltárása azt jelenti, hogy a légi távérzékelés segítségével még aratási időszak előtt képet kaphatunk a hozam táblán belüli változatosságáról. Mivel számos vegetációs index létezik, így első célunk az volt, hogy meghatározzuk mely vegetációs index használható a leghatékonyabban a távérzékelte adatok feldolgozása során.

Munkánk során a távérzékelésben, a növényi vegetációs indexek közül a keskeny sávú NDVI indexet találtuk a legalkalmasabbnak. Tanulmányunkban az NDVI meghatározáskor kombináltuk a rendelkezésre álló NIR és a vörös sávokat. A regressziós modell segítségével kapcsolatot mutattunk ki az NDVI és

a területen vett minták között. A legszorosabb kapcsolatot az NDVI és a biomassza tömeg között a 625 nm és a 720 nm-es sávban találtuk (n=9,  $R^2=0,762$ ,  $p<0,05$ ). Regresszió számítással további kevésbé szoros kapcsolatot találtunk a vörös él pozíció (RAP) és a biomassza tömeg között (n=9,  $R^2=0,668$ ,  $p<0,05$ ). A regressziós modell alkalmazásával nedves biomassza térképet készítettünk. A nedves biomassza tömege ( $\text{kg/m}^2$ ) =  $52.317e^{\text{NDVI}(625,720)}$ . Mivel a precíziós technológia térbeli információt igényel a növényzet állapotáról, a biomassza mennyisége és a termésátlag alakulásáról, amely különböző szintű lehet évjáratonként. A nedves biomassza tömeg és a hozam közötti kapcsolat kihasználható az aratás előtti termésbecsléshez.

## Hipotézis vizsgálat eredménye

Kutatási hipotézisek	A kutatási hipotézis vizsgálat eredménye:
<b>H1:</b> 1. Heterogén talajtulajdonságokkal rendelkező terület esetében, a helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatással a búza termésátlaga növelhető, valamint a kezelés hatására a parcellán belüli szórás csökken.	részben igazolt
<b>H2:</b> Heterogén talajtulajdonságokkal rendelkező terület esetében, a helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatással a búza beltartalmi paraméterinek értéke növelhetőek, valamint a kezelés hatására a parcellán belüli szórásuk csökken.	részben igazolt
<b>H3:</b> Az időjárás elemeinek hatása mérsékelhető a helyspecifikus tápanyag-kijuttatással.	nem igazolt
<b>H4:</b> A távérzékelési eljárásokkal feltárható és ábrázolható a területen belüli térbeli változatosság, amelyek hozzájárul a hozam és termőhely közötti kapcsolat feltárásához. Az adott évben lehulló csapadék hasznosulása függ, a terület mikro-domborzati adottságaitól.	igazolt
<b>H5:</b> A hozamtérkép és a növényi vegetációs index alapján készült térkép kapcsolatban áll egymással, így a növényi vegetációs index térkép alkalmas a hozam becslésére.	igazolt

## Új tudományos eredmények

Kutatómunkám során az alábbi új tudományos eredményeket értem el:

**T1:** Az évjáratí különbségeknél megállapítottuk, hogy vizsgált tényezők száraz évjáratokban kisebb, nedves évjáratokban nagyobb különbséget mutattak a termés minőségi paramétereit tekintve.

**T2:** A mennyiségi értékek kialakulásánál alátámasztottam Szabó et al. (1996) kutatási eredményeit, miszerint a csapadékoptimum 40%-át a növény márciustól igényli. A legnagyobb vízfelhasználás április 10. és május 10. közé esik. Az ebben az időszakban lehulló csapadék mennyisége meghatározza a hozam nagyságát.

**T3:** Helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatás - változatlan nitrogén és kálium műtrágya adag mellett - kimutathatóan növeli az őszi búza beltartalmi paramétereit közül a fehérje %-ot, sikér %-ot, Zeleny-indexet és az esésszámot. A helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatás hatását nem tudtam igazolni az ezermagtömegre, nedvességtartalomra.

**T4:** A helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatás és a termésátlag növekedése között statisztikailag igazolható kapcsolatot nem tudtam kimutatni.

**T5:** Vizsgálataim során bebizonyosodott, hogy a termésátlagok és beltartalmi értékek közül a fehérje %, sikér %, Zeleny-index és az esésszám esetében a szórás növekszik a kontroll parcellához képest a precíziós tápanyag-kijuttatással.

**T6:** Igazolható kapcsolatot mutattam ki vizsgált terület lejtési %-a és a hozam között, amely alapján azt a megállapítást tettem, hogy a műtrágya hasznosulását a terület lejtési viszonyai – a lehulló csapadék mozgásán keresztül – befolyásolják.

**T7:** Igazolható kapcsolatot mutattam ki a területen található nedves biomassza tömege és az azonos pontokon mért termésátlag között. Megállapítottam, hogy mely spektrális tartománnyal mutatott legszorosabb kapcsolatot az NDVI a hozammal.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgálati eredmények értékelésénél kiemelt szerepe van az évjárat meghatározásnak, valamint a csapadék havi eloszlásának. A 2008 évi csapadék adatok azt mutatták, hogy összességében aszályos évjárat volt az év, de a március-április hónapokban lehullott csapadék meghatározta a 4,55-4,40 t/ha között mozgó a vizsgálati évek legmagasabb termésátlagát.

A helyspecifikus foszfor műtrágya kijuttatás hozam mennyiségére gyakorolt hatása nem egyértelmű. A kezelt mintaterületen belüli szórás a 2008-as évbenkisebb, míg a 2010 és 2011-es évben nagyobb volt, mint a kontroll területen, tehát a folyamatos kezeléshatására a területen a növényállomány közötti heterogenitás növekedett.

A minőségi értékek a 2007-es aszályhoz közeli és a 2008-as aszályos évben voltak a legmagasabbak, tehát az aszályos időjárás pozitív hatást gyakorol az őszi búza minőségére. A búza minősége a kezelt területen minden évben magasabb volt, mint a kontroll területen, de nagyobb szórás értékek mellett. A kezelés hatása tehát csak optimális talajadottságú területen volt pozitív. Azokon, a talajfoltokon, ahol a talaj vagy a mikrodomborzat valamely tulajdonsága nem engedte érvényesülni a tápanyag hasznosulását, a búza hozama és minőségi értékei nem emelkedtek az optimális mennyiségű tápanyag hatására sem.

A hely-specifikus foszfor műtrágya kijuttatással tehát nem valósult meg a területen lévő növényállomány minőségi és mennyiségi homogenitásának növelése. Közgazdasági szempontból lényeges kérdés, hogy lehatároljuk azokat a talajfoltokat, ahol a többletráfordítások nem térülnek meg a hozamon keresztül. Ezek a talajfoltokon a többlet tápanyag kijuttatása megkérdőjelezhető gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt.

A mintaterületről készült Digitális Domborzati Modell alapján megállapítottuk, hogy a legmagasabban fekvő pontok a tengerszint felett 190,44 m-re találhatóak és a legalacsonyabban fekvő pont 155,822 m magasan helyezkedik el, a mintaterületen mérhető legnagyobb szintkülönbség 34,618 m. A Digitális Domborzati Modelltől meghatároztuk a terület lejtési viszonyait, valamint az elemzés szempontjából optimális 1 m-es felbontású raszter méretet.

Az akkumulációs zónák meghatározása fontos információt szolgáltat a helyspecifikus tápanyag-kijuttatáshoz, hiszen segítségével meghatározható a víz lefolyásának szöge és a vízfolyás hossza a területen. A modell segítségével megvalósulhat azon talajrészek lehatárolása, ahol nagyobb a talaj- és tápanyagvesztés. Ezek az információk a hozamtérkép és évjáratok tükrében további elemzésekre adnak lehetőséget, tovább finomíthatják a hely-specifikus tápanyag kijuttatási térképeket.

Az akkumulációs zónák meghatározásával lehetőség nyílik a terület hely-specifikus aszályérzékenységének meghatározására. A hely-specifikus aszályérzékenységi mutatót meghatározhatja a terület lejtési és magassági viszonyai, kiegészítve ezzel a hozamtérképet, talajjellenállás-térképet, és a nagypontosságú talajtérképeket. További kutatások szükségesek a hely-specifikus aszályérzékenységi mutató gyakorlatban alkalmazható modelljének kidolgozására.

Megvalósítottuk a területen termelt búza térbeli változatosságának feltérképezését hiperspektrális távérzékeléssel gyűjtött nagypontosságú adatokkal. A növényi vegetációs indexek közül az NDVI indexet alkalmaztuk, amely meghatározásához a NIR és a vörös sávok kombinációját használtuk. A regressziós modell segítségével kapcsolatot mutattunk ki az NDVI és a területen vett minták között. A legszorosabb kapcsolatot az NDVI és a biomassa tömeg között a 625 nm és a 720 nm-es sávban találtuk ( $n=9$ ,  $R^2=0,762$ ,  $p<0,05$ ). Regresszió számítással további kevésbé szoros kapcsolatot találtunk a vörös él pozíció (RAP) és a biomassa tömeg között ( $n=9$ ,  $R^2=0,668$ ,  $p<0,05$ ).

Regressziós modell alkalmazásával elkészítettük a terület nedves biomassa térképet, valamint a nedves biomassa tömegét. A teljes terület biomassa tömege ( $\text{kg/m}^2$ ) =  $52.317eNDVI(625,720)$ . A biomassa tömeg és az NDVI index közötti kapcsolat bizonyítja, hogy a hiperspektrális távérzékelés eszközrendszere alkalmas a hozam aratás előtti időpontjában való meghatározásra, így lehetőség nyílik a hozam növelése érdekében agrotechnikai beavatkozásokra.



## AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN ÍRT TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

### Hazai tudományos lapokban megjelent publikációk (nem IF-es, magyarul)

Klupács H.; Tarnawa Á.; Szentpétery Zs.; **Ambrus A.**; Jolánkai M. 2010. Agrotechnikai elemek hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) vetőmagtermesztésére

NÖVÉNYTERMELÉS 59:(1) pp. 47-60.

**Ambrus A.**; Burai P.; Lénárt Cs.; Enyedi P.; Kovács Z. 2015. Estimating biomass of winter wheat using narrowband vegetation indices, Journal of Central European Green Innovation, HU ISSN 2064-3004

Jolánkai M. – Szentpétery Zs. – Tarnawa Á. – **Ambrus A.** – Kassai M.K. (2015): Evaluation of climate change impact by biological indicator. Acta Hydrologica Slovaca. 16. 2. 218-223 pp.

### Tudományos könyvfejezet

**Ambrus A.**, Burai P., Bekő L., (2016): Hely-specifikus gazdálkodás bevezetése, mint döntési helyzet. In: Dr. Takácsné Prof. dr. habil György Katalin, XV. Nemzetközi Tudományos Napok „Innovációs kihívások és lehetőségek 2014-2020 között” Konferencia kiadvány, Gyöngyös, ISBN 978-963-9941-92-2 Konferencia ideje: 2016. március 30-31. pp. 59-66.

Fodor L.; Molnár Z.; **Ambrus A.** 2006. Őszi búza fajták minősége laboratóriumi vizsgálatok tükrében a gyöngyösi fajtakísérletben. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) X. Nemzetközi Agrárökonómai Tudományos Napok. A Tudományos Napok előadásai és poszterei. Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, CD kiadvány, ISBN 963 229 6230.

**Ambrus A.** 2006. A precíziós növénytermesztés létjogosultsága a Mátra alján. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) X. Nemzetközi Agrárökonómai Tudományos Napok. A Tudományos Napok előadásai és poszterei. Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, CD kiadvány, ISBN 963 229 6230.

**Ambrus A.** ; Pethes J.; Béltéki I.; 2008. Ökológiai viszonyok és a minőség kapcsolata a Károly Róbert Főiskola őszi búza kisparcellás fajtaösszehasonlító kísérletében. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) XI. Nemzetközi Agrárökonómai Tudományos Napok, Napok előadásai és poszterei, CD kiadvány

**Ambrus A.**; Lénárt Cs.; Burai P. 2010. Az őszi búza piaci helyzetének értékelése és kihatása a jövedelmezőségre a Havas '92 Növénytermesztő Gazdaszövetkezethél. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) XII. Nemzetközi Agrárökonómiai Tudományos Napok, A tudományos napok előadásai és poszterei, ISBN 978-963-9941-09-0 (CD-ROM)

Lénárt Cs.; **Ambrus A.**; Burai P. 2010. GPS technológiák alkalmazási lehetőségei és vállalatirányítási rendszerben való szerepe a Havas '92 Növénytermesztő Gazdaszövetkezethél. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) XII. Nemzetközi Agrárökonómiai Tudományos Napok, A tudományos napok előadásai és poszterei, ISBN 978-963-9941-09-0 (CD-ROM)

**Ambrus A.**; Lénárt Cs.; Burai P. 2012. Precíziós és hagyományos technológiák alkalmazási lehetőségei az erózióval érintett területeken a Mátra-alján. In: Magda S. – Dinya L. (szerk.) XIII. Nemzetközi Agrárökonómiai Tudományos Napok, A tudományos napok előadásai és poszterei, ISBN 978-963-9941-09-0 (CD-ROM) 1184-1189 p.

- Konferencia kiadvány angol nyelven

Klupács H.; Tarnawa Á.; Szentpétery Zs.; **Ambrus A.**; Jolánkai M. 2008. Agronomic effects on production and quality of wheat seed In: Musilová J, Vozár I (szerk.) III. Vedecká konferencia doktorandov = Proceedings of the III. International Scientific Conference of PhD. Students. Konferencia helye, ideje: Nyitra, Szlovákia, 2008. 11.28pp. 213-216.

Konferencia kiadvány magyar nyelven

**Ambrus A.** (2007) Precíziós mezőgazdaság ökonómiai kérdései egy adott gazdaságnál. Tradíció és Innováció Nemzetközi tudományos konferencia, Szent István Egyetem, Gödöllő,

Bélteki I.; **Ambrus A.**; Pethes J., 2008. Korai éréscsoportba tartozó őszi búza fajták terméseredményeinek vizsgálata kisparcellás kísérletben. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely

**Ambrus A.**; Pethes J.; Bélteki I. 2008. Ökológiai viszonyok és a minőség kapcsolata a Károly Róbert Főiskola őszi búza kisparcellás fajtaösszehasonlító kísérletében. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely,

Holló S.; Pethes J.; **Ambrus A.**; 2009. A tartós szerves – és műtrágyázás hatása a talaj könnyen oldható foszfortartalmára Kompolton, csernozjom barna erdőtalajon. Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében, Jubileumi tudományos konferencia, Martonvásár, 235-241 p.

Fodorné Fehér, E., Fodor, L., **Ambrus, A.**, 2009. Műtrágyázás hatása az őszi búza termelésére és minőségére, Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében, Jubileumi tudományos konferencia, Martonvásár, 95-100 p.

*Egyéb angol nyelvű publikáció*

**Ambrus A.**; Hidvégi Sz.; Láposi R. 2008. Precision method's impacts on quality, quantity and soil in growing winter wheat. VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Cereal Research Communication, Volume 36, 367 p.

Klupács H.; Tarnawa, Á.; Szentpétery, Zs.; **Ambrus, A.**; Jolánkai, M. 2008. Agronomic effects on production and quality of wheat seed. VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Cereal Research Communication, Volume 36, 871 p.

**Ambrus A.**; Pethes J.; Fodorné Fehér E. 2009. The impact of precision nutrient supplementation on the quality and quantity of winter wheat and on the soil. Cereal Research Communications Vol. 37, 2009, Supplement. 249-252 p.

**Ambrus A.**; Burai P.; Lénárt Cs.; Enyedi P.; Tomor T. 2012. Potential applications of precision technologies at erosion-affected areas. XI. Alps-Adria Scientific Workshop, Növénytermelés, Crop production, Volume 61, Supplement, 145-148 p.

**Ambrus A.**; Holló S.; Fodorné Fehér E.; 2010. Interaction of soil, fertilization, crop rotation and crop year effect in the crop production. IX. Alps-Adria Scientific Workshop, Növénytermelés, Crop production, Volume 59, Supplement, 425-428 p.

*Népszerűsítő tudományos cikk*

Kerek Z.; **Ambrus A.**; Marselek S. 2007. Néhány, az őszi búza termesztését befolyásoló tényezők vizsgálata a precíziós gazdálkodás lehetőségei, Mag, kutatás, fejlesztés és környezet, 21. évf. 4-5. sz. 49-55. p.