

**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

A szárazságstressz morfológiai, fiziológiai és  
termésbiológiai hatásának tanulmányozása  
durumbúzában

Doktori (Ph.D) értekezés

Bányai Judit

Martonvásár

2017

**A doktori iskola**

**megnevezése:**

Növénytudományi Doktori Iskola

**Tudományága:**

Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

**Vezetője:**

**Dr. Helyes Lajos**

egyetemi tanár, az MTA doktora

SZIE Mezőgazdaság-és Környezettudományi Kar

Kertészeti technológiai tanszék

**Program:**

Növénygenetika, növénynemesítés és

növénybiotechnológia

**Témavezető:**

**Dr. Karsai Ildikó**

tudományos tanácsadó, az MTA doktora

MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet

**Dr. Láng László**

tudományos tanácsadó, az MTA doktora

MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet

.....  
**Dr. Helyes Lajos**  
Iskolavezető jóváhagyása

.....  
**Dr. Karsai Ildikó**  
A témavezető jóváhagyása

.....  
**Dr. Láng László**  
A témavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	<b>7</b>
1.1. Célkitűzések .....	8
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>9</b>
2.1. Az éghajlat változása a világon és Magyarországon.....	9
2.2. A szárazságstressz meghatározása .....	12
2.2.1. Szárazságstresszre érzékeny fejlődési fázisok.....	14
2.2.2. Szárazságstressz hatása a növények morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságaira .....	15
2.2.3. Növényi védekező stratégiák a szárazságstressz-szel szemben.....	17
2.3. Nemesítési lehetőségek a szárazságtűrés növelésében.....	21
2.3.1. Rokon és vad fajok, biotechnológia és 'omika' felhasználása a szárazságtűrés növelésében .....	22
2.3.2. Genetikai térképezés a szárazságtolerancia növelésében.....	25
2.3.2.1. Genetikai markerek alkalmazása a szárazságtolerancia vizsgálatában.....	27
2.3.3. Szelekciós eljárások a szárazságtűrés növelésében .....	29
2.4. Durumbúza eredete, genetikája, elterjedése .....	33
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	<b>34</b>
3.1. A kísérletben vizsgált genotípusok .....	34
3.2. A kísérleti területek .....	36
3.2.1. A szántóföldi kísérleti terület jellemzése .....	37
3.2.2. Az elhúzható esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti terület jellemzése.....	43
3.3 A kísérleti évek meteorológiai adatai és a kísérleti területek vízellátottsága.....	46
3.4 Az adatelemzés és értékelés módszerei.....	49
<b>4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK</b> .....	<b>51</b>
4.1. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúzában.....	51
4.1.1. Szárazságstressz hatása a durumbúza GWA-panel egyedfejlődésére, morfológiai, fiziológiai tulajdonságaira és termésképzésére.....	51
4.1.2. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúza Core panelben.....	64
4.1.3. Az eredmények megvitatása .....	72
4.2. Asszociációs elemzés .....	77
4.2.1. Durumbúza asszociációs panel populáció struktúrája .....	77
4.2.2. QTL-elemzés a GWA panelben .....	78
4.2.3. Az eredmények megvitatása .....	84
4.3. Szárazságstressz hatása a morfológiai, fiziológiai, biokémiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúza közel izogén törzsekben.....	86
4.3.1. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai tulajdonságokra.....	86
4.3.2. Szárazságstressz hatása a termékkomponensekre.....	90
4.3.3. Szárazságstressz hatására bekövetkező poliamin tartalom és antioxidáns aktivitás változás.....	91
4.3.4. A morfológiai, fiziológiai, biokémiai tulajdonságok és a termékkomponensek kölcsönhatása szárazságstressz során .....	94
4.3.5. Az eredmények megvitatása .....	97
4.4. Új tudományos eredmények.....	101
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK</b> .....	<b>103</b>
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	<b>106</b>
<b>7. SUMMARY</b> .....	<b>108</b>

<b>8. MELLÉKLETEK .....</b>	<b>110</b>
M1. Irodalomjegyzék .....	110
M2. A kísérletbe vont 188 durumbúza genotípus .....	131
M3. A kísérleti területek fotói.....	132
M4. A kísérleti évek időjárás adatai .....	134
M5. A kísérletek talajnedvességi adatai.....	136
M6. A gabonafélék fejlődési szakaszai (Zadoks-skála).....	138
M7. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája, valamint a genotípus, kezelés és interakciójuk hatása a különböző évjáratokban (GWA panel) .....	139
M8. A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise és ismételhetőségi értékszama (GWA panel).....	141
M9. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (GWA panel) .....	142
M10. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel).....	143
M11. Az évjárat, genotípus, kezelés valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett tulajdonságokra (Core panel) .....	144
M12. A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise (Core panel) .....	145
M13. A felvételezett tulajdonságok átlagértékei kezelésként és fajtánként (Core panel) .....	148
M14. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (Core panel).....	150
M15. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise az öntözött ismétlésekben (Core panel).....	151
M16. A felvételezett tulajdonságok közötti kapcsolat természetes csapadékellátottság esetén (Core panel).....	152
M17. A felvételezett tulajdonságok rangkorreláció eredményei (Core panel) .....	153
M18. Az évjárat, genotípus, kezelés, vetési sűrűség valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett tulajdonságokra (NILs kísérlet).....	154
M19. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája (NILs kísérlet) .....	156
M20. QYld.idw-3B-- és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek különbségei kezelésen belül (NILs kísérlet) .....	160
M21. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (NILs kísérlet).....	162
M22. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (NILs kísérlet).....	163
M23. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája (NILs-RS).....	164
M24. QYld.idw-3B-- és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek leíró statisztikája (NILs-RS, 2014).....	165
M25. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (NILs-RS) .....	166
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>167</b>

## VIZSGÁLT PARAMÉTEREK RÖVIDÍTÉSEINEK JEGYZÉKE

ASM	főkalász csúcsi steril kalászkaszáma [%]
AUSDC	Area Under SPAD value Decline Curve
AUVIC	Area Under Vegetation Index Curve
APX	aszorbát-peroxidáz [ $\text{g}^{-1}$ DW]
BE	növénymagasság (a főhajtás alapi részétől a főkalász alapi részéig mérve) [cm]
BSM	főkalász alapi steril kalászkaszáma [%]
DW65	szárított föld feletti biomassza-tömeg Z65 fejlődési stádiumban [kg]
DW91	szárított föld feletti biomassza-tömeg Z91 fejlődési stádiumban [kg]
EL	kalász hossza [cm]
HD	kalászás ideje
FD	virágzás ideje
FLA	zászlóslevél terület [ $\text{cm}^2$ ]
FLC	növénymagasság (a főhajtás alapi részétől a zászlóslevél levélhüvelyéig mérve) [cm]
FTN	fertilis oldalhajtások száma
G	sikértartalom [%]
GF	szemtelítődés ideje Z83 fejlődési stádiumig
GF83	szemtelítődés ideje Z91 fejlődési stádiumig
GY	szemtermés [t/ha]
G-POD	gvajakol-peroxidáz [ $\text{g}^{-1}$ DW]
HL	hektoliter tömeg (HL)
MD	érés ideje
NDVI45	normalizált vegetációs index Z45 fejlődési stádiumban
NDVI65	normalizált vegetációs index Z65 fejlődési stádiumban
NDVI83	normalizált vegetációs index Z83 fejlődési stádiumban
P	szemtermés fehérjetartalom [%]
PAs	Poliaminok
PL	peduncle lenght (a zászlóslevél levélhüvelyétől a kalász aljáig mért távolság) [cm]
PLA	teljes növényi levélterület [ $\text{cm}^2$ ]
PUT	putreszcin [ $\text{g}^{-1}$ DW]
RWC	zászlóslevél relatív víztartalma Z65 fejlődési stádiumban [%]
SKNM	a főkalász kalászkaszáma
SL	szemek hossza [mm]
SNM	a főkalász szemszáma [db]
SNS	a mellékkalász szemszáma [db]
SPAD45	zászlóslevél relatív klorofilltartalom Z45 fejlődési stádiumban
SPAD65	zászlóslevél relatív klorofilltartalom Z65 fejlődési stádiumban
SPAD77	zászlóslevél relatív klorofilltartalom Z77 fejlődési stádiumban
SPAD83	zászlóslevél relatív klorofilltartalom Z83 fejlődési stádiumban
SPAD85	zászlóslevél relatív klorofilltartalom Z85 fejlődési stádiumban
SPD	spermidin [ $\text{g}^{-1}$ DW]
SPN	spermin [ $\text{g}^{-1}$ DW]
SW	szemek szélessége [mm]
SWM	a főkalász szemtömege [g]
TE	növénymagasság (a főhajtás alapi részétől a főkalász csúcsáig mérve) [cm]
TGW	parcella ezerszem-tömege [g]

TGWM	főkalász ezerszem-tömege [g]
TGWS	mellékkalások ezerszem-tömeg [g]
TT-HD	effektív hőösszeg kalászosításig
TT-FD	effektív hőösszeg virágzásig
TT-MD	effektív hőösszeg érésig
V29-31	korai fejlődés az első nádusz megjelenése előtt
V33	korai fejlődés a 3. nádusz megjelenésekor
WC65	növényi víztartalom Z65 fejlődési stádiumban [kg]
WC91	növényi víztartalom Z91 fejlődési stádiumban [kg]
WW65	föld feletti biotassza-tömeg Z65 fejlődési stádiumban [kg]
WW91	föld feletti biotassza-tömeg Z91 fejlődési stádiumban [kg]
Z	szedimentációs index [ml]

## 1. BEVEZETÉS

A növénynemesítői munka célja, hogy a fajták ne legyenek fogékonyak a betegségekre, a várt minőségű és mennyiségű termést adják stabilan, évről évre. Mindezt csak úgy lehet elérni, ha a fajta képes alkalmazkodni a különböző környezeti adottságokhoz és jól tolerálja az egyes fejlődési fázisokban tenyészidőszakonként változó módon fellépő időjárási sokszínűséget. A szélsőséges klimatikus események gyakoriságának fokozódásával nemcsak az ökológiai régiók, de az évjáratok közti változékonyság is megnőtt. A növekvő népesség élelemmel való ellátása miatt szinte versenyfutáshoz hasonlítható a biológusok és növénynemesítők erőfeszítése annak érdekében, hogy a nagyobb produktivitással egy időben minél jobb adaptációs képességű genotípusokat hozzanak létre (Bedő *et al.* 2007; Bedő *et al.* 2014).

Aszálynak kitett kontinentális klímájú régiókban az adaptációs képesség, a szárazságtűrés és a termőképesség szorosan összefüggő tulajdonságok. A termelékenység fenntartásához és növeléséhez ezért szükség van szárazságtűrő és jobb vízhasznosító képességű, a változó klímához jobban alkalmazkodó fajták nemesítésére, valamint a víztakarékos mezőgazdasági rendszerek alkalmazásának elterjedésére (Trethowan *et al.* 2005). Ennek elérésére a biológiai kutatások és nemesítői programok arra törekcsenek, hogy megértsék a szárazságtűrés mechanizmusát, azonosítsanak és beépítsenek szárazságtűrésért felelős tulajdonságokat (géneket) a modern termesztett fajtákba. Olyan szárazságtűrő genotípusok nemesítése a cél, amelyek képesek víz deficit esetén is megfelelő hozam elérésére, nagyobb a vízhasznosító képességük, vízhiányra és az ozmotikus stresszre jobb adaptálódó képességgel rendelkeznek.

Ahhoz azonban, hogy az egyes genotípusok szárazságstressz toleranciáját minél alaposabban megismerjük a különböző évjáratokban, szükséges, hogy együttesen alkalmazzuk a fenotipizálási módszereket, fiziológiai és genetikai ismereteket.

Mennyiségi tulajdonságokért felelős régiók (QTL) azonosítása, gén expressziós vizsgálatok, molekuláris és biokémiai mechanizmusok tanulmányozása képezhetik az alapját olyan szárazságtűrő genotípusok kiválogatásának, amelyek képesek víz deficit esetén is megfelelő hozam elérésére.

A négyéves kísérleti munkában (2011-2014) 188 különböző tavaszi durumbúza fajta és nyolc durumbúza közel izogén törzs elvetésével vizsgáltuk a szárazságstressz hatását szántóföldi körülmények között. Négy megközelítés kombinációját

alkalmaztuk: vizsgáltuk a növények szárazságstresszre adott válaszreakcióját természetes csapadékellátottságú és öntözött kísérletekben, rögzítettük az időjárási adatok alakulását a tenyészidő folyamán, nyomon követtük a talajban bekövetkező változásokat és térképeztük a szárazságtűréssel kapcsolatban álló genetikai régiókat. A növény-környezet-talaj-genetika négyes kombinációjának együttes vizsgálatával célunk az volt, hogy pontos képet kapjunk az egyes paraméterekben bekövetkező változások nagyságáról, a szárazságstressz okozta morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok alakulásáról.

### 1.1. Célkitűzések

Munkánk során célul tűztük ki:

- a környezet (kezelés, genotípus  $\times$  kezelés) szárazságtűrésre gyakorolt hatásának vizsgálatát, valamint olyan morfológiai és fiziológiai tulajdonságok azonosítását, amelyek elégtelen vízellátottság esetén is szoros kapcsolatot mutatnak a magasabb terméshozammal
- összefüggés kimutatását a zászlóslevelek klorofilltartalma (SPAD-érték), a teljes parcella spektrális fényvisszaverőképessége (NDVI-érték), valamint a szárazságtűrés között
- kiemelkedő szárazságtűrő genotípusok azonosítását, melyek nagy hozamstabilitással rendelkeznek
- szárazságtűrésért felelős lokuszok azonosítását asszociációs térképezés segítségével széles genetikai diverzitású durumbúza fajtakörön
- a QYld.idw-3B QTL régió terméshozamra kifejtett hatásának vizsgálatát, a 3B kromoszómán elhelyezkedő QYld.idw termőképességért felelős lokuszra nézve különböző szülői alléllal rendelkező közel izogén tavaszi durumbúza törzsekben
- a zászlóslevél poliamin tartalmának és antioxidáns enzim aktivitásának vizsgálatát szárazságstresszben, valamint e stresszvédő vegyületek és a terméshozam közötti kapcsolat elemzését közel izogén tavaszi durumbúza törzsekben.



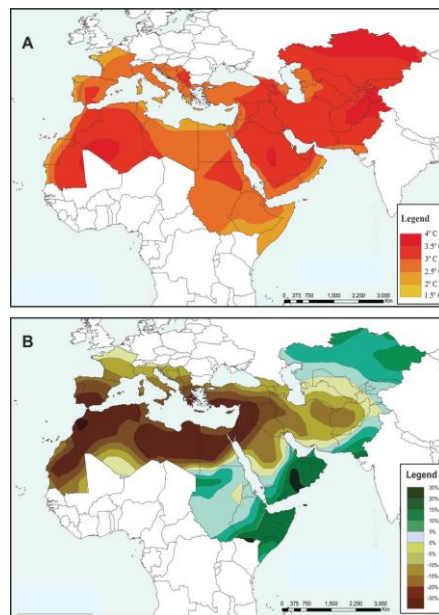
## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Az éghajlat változása a világon és Magyarországon

Az aszály és száraz évszakok előfordulása visszatérő jelenség, azonban a 20. század végétől egyre magasabb hőmérsékleti értékekkel, vele együtt kiszámíthatatlanabb csapadékmennyiséggel kell számolnunk. Az előrejelzések szerint az elkövetkezendő negyven évben növekedni fog a csapadék mennyiségének variabilitása, növekszik a magas hőmérséklet és a vízhiány kockázata a tenyészidő folyamán (Battisti és Naylor 2009; IPCC, 2007; Várallyay 2010). Egyre elfogadottabb az a tény, hogy ezek az események globálisan, az egész világra kiterjedően veszélyeztetni fogják az élelmiszerbiztonságot (Lobell *et al.* 2008), a mezőgazdaságnak pedig szembe kell néznie a rendelkezésre álló vízmennyiség fogyásával, a megművelhető föld területének csökkenésével, a gabonák iránti kereslet nagyfokú emelkedésével. Társadalmi - gazdasági előrejelzések azt mutatják, hogy az elkövetkezendő húsz évben a gabonák iránti kereslet akár 60 - 65 százalékkal is növekedhet (Láng és Bedő 2015), melyet a jelenlegi évi 1%-os termésszint emelkedés nem fog tudni kielégíteni. A csapadékhiány öntözéssel megoldhatónak tűnne, azonban ennek költsége igen magas. Braun *et al.* (1996) arról számoltak be, hogy a CIMMYT által 12 megakörnyezetre osztott búza termőterületből csak egy kis régió öntözhető. Napjainkban a búzatermesztés marginális területein (Észak-Afrika, Közel-Kelet) az abiotikus stressz tényezők (vízhiány, hőség) a legfőbb korlátai a termés növelésének (Cseuz és Matuz 2013), azonban már nekünk is számolnunk kell a kedvező környezeti adottságú termőterületeket sújtó periodikus szárazsággal. Szükség van ezért olyan új búza genotípusok előállítására, melyek képesek fenntartani a termésszintet még alacsony vízkészlet esetén is. Ez a megoldás segíthet stabilizálni és növelni a búzatermelést a jelenlegi és a jövőbeni éghajlati viszonyok között.

Ma már vitathatatlan tény, hogy a légkör melegszik, ezt bizonyítja a levegő és az óceánok globális melegedése, a gyorsabb ütemben olvadó hó és jégtakaró, valamint az emelkedő tengerszint (Semenov 2007; Semenov és Halford 2009). Most már kevesen kérdőjelezik meg, hogy a klímaváltozás egyik előidézője az ember, pontosabban az emberi tevékenység során a légkörbe juttatott üvegházhatású gázok. Bizonyított, hogy a földtörténet során máskor is volt lényegesen melegebb bolygónkon, sőt az 5 milliárd esztendő mintegy 90 %-ában nem borította jég a Földet. Tény azonban, hogy ezek a hőmérséklet különbségek nem évtizedek, vagy pár évszázad alatt jöttek létre, hanem év-tízezrek, esetleg évmilliók alatt. A globális

klíma-modellek előrejelzései szerint a hőmérséklet átlagosan 1,1-6,4°C-kal fog emelkedni 2071 és 2100 között (Barrow és Hulme 1996), míg a CO<sub>2</sub> koncentráció 1,3-szor nagyobb lesz az atmoszférában, mint például 20 évvel ezelőtt (IPCC 2007). A klíma trendek azt mutatják, hogy Európa hőmérsékletének emelkedése nagyobb lesz, mint a globális átlag; Észak-Európában télen, míg a Mediterrán medencében nyáron mérhetünk az eddigi átlagos hőmérsékletnél magasabb értékeket (IPCC 2007; Bates *et al.* 2008).

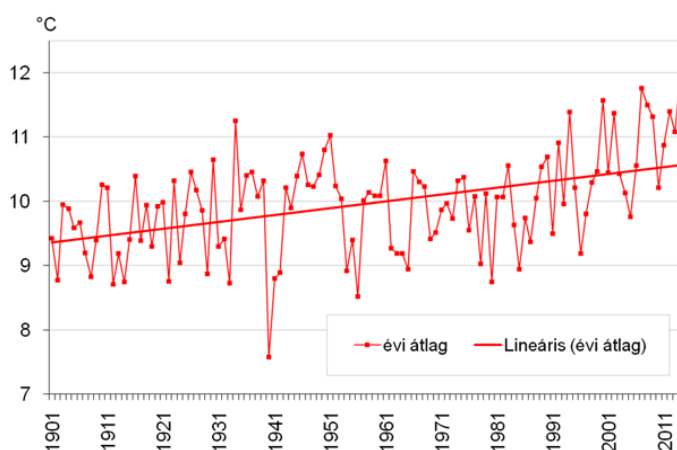


1. ábra. Az átlagos évi hőmérséklet (A) és évi csapadék (B) előre jelzett változása többtényezős-modellben (1980–2099) Ázsia, Afrika és Dél-Európa egyes területein (IPCC, 2007)

Az évi csapadék mennyisége nagy valószínűséggel növekedni fog az észak-európai területeken, míg csökkenni a mediterrán régiókban, mivel az előrejelzések szerint kevesebb lesz az évi csapadékos napok száma. Annak ellenére, hogy a klíma modellek egyes részleteikben eltérnek (a hosszú-távú csapadék-eloszlás előrejelzése kevésbé biztos, mint a hőmérséklet változásának becslése), jellemzően a modellek eredményei azt mutatják, hogy a Mediterrán területeken 4-27%-kal csökkenni fog az évi csapadék mennyisége (1. ábra). Trenberth (2011) számításai szerint a légköri nedvesség növekedni fog a hőmérséklet emelkedésének következtében, ez pedig a viharok erősségének fokozódásához vezet. Közép-Európa területein a nyári szárazság kockázata megnő, valamint a késő tavaszi szokatlanul magas hőmérséklet egyre gyakoribb lesz és a növényeket már korai fenofázisban fogja érni.

A klíma-modellek előrejelzései szerint Magyarországon is a globális mértéknél nagyobb hőmérséklet-emelkedés várható, amely főleg nyáron és ősszel érezteti

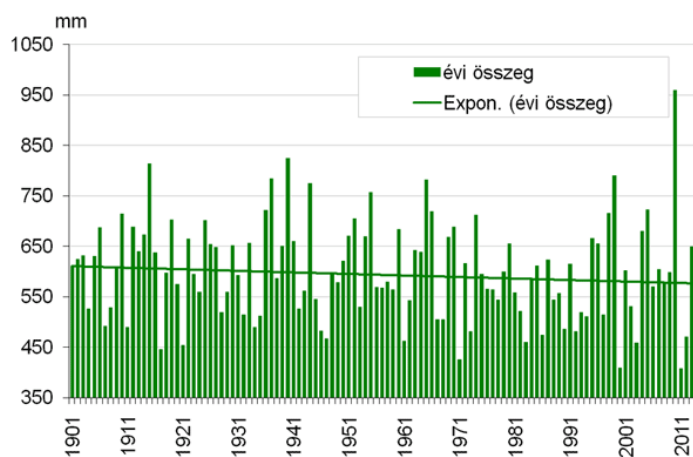
hatását. A lehullott csapadék mennyisége és eloszlása is változni fog: az esős teleken árvízveszélyre, a száraz, forró nyarakon pedig aszályra kell felkészülnünk. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) elmúlt 30 év időjárás adatelemzése szerint a tavaszi középhőmérséklet jelentősen, 1,75°C-kal, a nyári 2°C-kal nőtt 95%-os bizonyossággal (Szentimrey és Bihari 2014). A melegedési tendenciát leginkább a nyarak hőmérséklete tükrözi; az elmúlt 114 évben az évi középhőmérséklet emelkedés +1,20°C, az elmúlt 30 évre vonatkozóan pedig +1,62°C volt (2. ábra).



2. ábra. Az országos évi középhőmérsékletek alakulása 1901 és 2014 között (OMSZ, 2015)

Látható, hogy a súlyos és rendkívül súlyos aszályoknak a 20. század vége felé tapasztalható gyakoribbá válása a 21. században is folytatódik (3. ábra), hiszen a 2002-es, a 2003-as és a 2007-es esztendő is ezekbe a kategóriákba volt sorolható (Láng és Bedő 2004; Pálfai 2009); 1983-2009 között nyolc ilyen esztendőt is számolhattunk (Pálfai 2010). A 2011-es év tavasza rendkívül száraz volt, a szórványos csapadék ellenére is vízhiánnyal küzdöttek tavaszi vetésű növényeink egészen az aratás kezdetéig, majd ezt követte az őszi és tél eleji újabb aszály (Bányai *et al.* 2012). 2012 májusában melegrekordok dőltek meg. A négy évszak összehasonlításában a legnagyobb csapadécsökkenés a tavaszi csapadék mennyiségében következett be, értéke megközelíti a 20%-ot a több mint egy évszázadon átívelő idősor alapján. Kevesebb a csapadékos nap országos átlagban, ahogy a jelenhez közelítünk, a 20 mm-t meghaladó csapadéku napok száma viszont enyhe növekedést mutat. Ezzel párhuzamosan a száraz időszakok hossza (vagyis a leghosszabb időszak, amikor a napi csapadék nem éri el az 1 mm-t), jelentősen megnövekedett a 20. század eleje óta (Szentimrey és Bihari 2014).

A 2014-es év a 11,95 °C-os középhőmérsékleti értékkel 1901 óta a legmelegebbnek bizonyult (homogenizált, interpolált adatok alapján), 0,2 °C-kal megelőzte az eddigi legmelegebb 2007-es évet. A 2015-ös nyár pontosan megmutatta, hogy mire is számíthatunk az éghajlati változások miatt a jövőben. Országos szinten 41 hőségnapot (napi maximum  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ) regisztráltak, ez 19 nappal haladja meg az 1981-2010-es átlagértéket. Az általában jelentkező 2 forró nappal (napi maximum  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ) szemben pedig 13 forró napot jegyeztek fel. Különösen csapadékszegény volt a nyár első két hónapja: júniusban országos átlagban a megszokottnak csupán 40%-a, 29,2 mm esett, így 1901 óta a 6. legszárazabb június volt 2015-ben (Kovács és Lakatos 2015).



3. ábra Az országos évi csapadékösszegek 1901 és 2014 között (OMSZ, 2015).

## 2.2. A szárazságstressz meghatározása

A 'szárazság'-ot mint fogalmat, többféle módon értelmezhetjük. Attól függően, hogy a vízhiány hatását milyen tudományág vizsgálja, valamint, hogy ez a hatás mennyi ideig tart, egy geológus vagy egy molekuláris biológus eltérően gondolkodik. A geológusok és a paleontológusok évezredekkel vizsgálják, s foglalkoznak azokkal a jelentős klímaváltozásokkal, melyek hatást gyakoroltak a humán populációra és ökoszisztémára (Araus *et al.* 2007). A történészek és földrajzszakosok évtizedeket vagy évszázadokat átölelve kutatják a hosszan tartó, súlyos szárazságok társadalomra gyakorolt hatásait (Worster 1979; Matskási 1984). A meteorológusok statisztikailag vizsgálják a lehullott csapadék mennyiségének csökkenését, évenkénti bontásban megadva a legszárazabb periódusokat. Sejt és molekuláris szinten a szárazság okozta változások órákon, percekben, de akár nanoszekundumokon belül következhetnek be (Chaves *et al.* 2003). A mezőgazdasági kutatók és gazdálkodók a szárazságot egy

tenyészidőszakon belül értelmezik, a 'szárazságstresszt' pedig a csökkent termésmennyiség alapján mérik, mely a növények tenyészideje alatti alacsony talajnedvességi szint eredménye (Passioura 2007).

A csapadék időszakos eloszlása és a rendelkezésre álló víz mennyisége időről-időre, periodikusan változik nemcsak egy adott földrajzi helyen, hanem a természetű növények tenyészidőszakán belül is. A rövidebb ideig tartó vízhiányos időszakok a teljes fejlődési szakasza folyamán bármikor felléphetnek, eltérő hatást gyakorolva a növényekre, és gyakran a tartósan fennálló, enyhe vízhiány is súlyos aszályhoz vezethet (Fukai *et al.* 1999). Elégtelen csírázás alakul ki, ha a talajba juttatott szem nem tudja felvenni a szükséges mennyiségű vizet (tömegének 30-40%-át), a koleoptil pedig nem tud kiemelkedni, ha a talaj nagyon száraz és kemény (Bouaziz és Hicks 1990). Ugyancsak nagyon gyorsan, váratlanul alakulhat ki az az extrém száraz időszak - „flash drought” vagy „villám szárazság”- amely magas hőmérséklet és elégtelen csapadék hatására jön létre (Sandler *et al.* 2014). Ennek következtében a transpiráció növekszik, s mivel a talaj nedvességtartalma kritikus szintre csökken, akár a növény pusztulásához is vezethet. A szárazság megjelenésének változékonysága hatást gyakorol a terméshozamra; az a genotípus, amelyik adaptálódott az egyik időpontban jelentkező aszályhoz, nem biztos, hogy toleráns egy másik időpontban fellépő vízhiányra (Fukai *et al.* 1999). A szárazságstressz komplexitása abból is fakad, hogy számos jelenség idézi elő és alakítja eltérő erősségűvé: vízhiány, alacsony légköri páratartalom, erős sugárzás, hősokk, magas sókoncentráció, s mindez kölcsönhatásban van a talaj típusával (Fleury *et al.* 2010; Grigorova *et al.* 2011). Két különböző abiotikus stressz – mint például szárazság és hő - együttes fellépése esetén a stresszhatás additíven jelentkezhet, sokkal nagyobb kárt okozva (Keles és Oncel 2002; Barnabás *et al.* 2008). Az abiotikus és biotikus stresszfaktorok együttes jelenléte során kialakult negatív interakció függ a stresszhatások idejétől, természetétől és erősségétől. A hőmérséklet növekedése negatív hatást kiváltva csökkenti a baktériumok, vírusok és gombák elleni rezisztenciát. Búzában végzett hat éves kísérlet során a magasabb hőmérséklet a növények „*Helminthosporiumos*” szártőbetegség (*Cochliobolus sativus*) iránti fokozott fogékonyságát eredményezte (Sharma *et al.* 2007), a szárazság *Arabidopsis*-ban pedig növelte a *Pseudomonas syringae* avirulens izolátum fertőzési szintjét (Mohr és Cahill 2003).

### **2.2.1. Szárazságstresszre érzékeny fejlődési fázisok**

A gabonafélék fejlődése fenológiai fázisokra, szakaszokra bontható, melyet a genotípus, a környezet (elsősorban a hőmérséklet és a nappalhossz) valamint ezek kölcsönhatása befolyásol (del Moral *et al.* 2002). A hajtás-merisztémában (apexban) bekövetkező változásokat figyelembe véve a virágzásig eltelt időt három szakaszra oszthatjuk: vegetatív fázis (levél-kezdemények képződése), korai generatív fázis (kalászká-kezdemény differenciálódása) és késői generatív fázis (kalász és a virágszervek kifejlődése, mely az intenzív szárnövekedés során megy végbe) (Slafer *et al.* 2001). A növények vízszükséglete életük e fejlődési periódusaiban eltérő és nemcsak az életben maradásuk, hanem termőképességük is nagyban függ a rendelkezésre álló víz mennyiségétől. A kalászos gabonáknál a növekedési és fejlődési fázisban a bokrosodás szakasza (Nyiri 1993), valamint a virágzás időszaka kritikus periódus, amikor a vízhiány különösen korlátozóan hat a további fejlődésre és a termés mennyiségére. Az első nádusz megjelenéséig, az első szártag megnyúlásáig a kalászkák differenciálódása történik meg a tenyészőkúpon, kialakul a terminális kalászká, meghatározva ezzel a lehetséges maximális kalászkaszámot. Az intenzív szárnövekedés során determinálódik az életképes virágok száma a kalászkákban, amely a lehetséges maximális szemszámot szabja meg (Sreenivasulu és Schnurbusch 2012; Arisnabarreta és Miralles 2008). Virágzáskor a termékenyülési viszonyok alapján dől el a tényleges szemszám, majd a virágzás után meginduló szemtelítődés eredményeképpen a tényleges ezerszem-tömeg (McMaster 2005). A virágzás előtti és utáni alacsony talajnedvességi szint hatással van a kalászkák fertilitására, a növények zölden maradásának időtartamára ('stay green'), valamint az asszimilátumok mobilizálhatóságára a szemtelítődéshez. Dóka (2011) és Saeedipour (2011) szerint a növények vízigénye és a vízhiánnyal szembeni érzékenysége a generatív szervek kialakulásának időszakában fokozódik, s ilyenkor a növények aszályérzékenysége megnő. Ezekben a fejlődési szakaszokban kiemelt jelentősége van a víznek (megfelelő tápanyagellátás mellett); ha a rendelkezésre álló mennyiség nem elegendő, a genetikailag elérhető termésmennyiség és minőség csorbát szenved (Alaei *et al.* 2010; Nouri *et al.* 2011; Ragheid *et al.* 2011; Xuemei *et al.* 2010).

### **2.2.2. Szárazságstressz hatása a növények morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságaira**

A növényben fellépő vízhiány fiziológiai és biokémiai válaszreakciókat indít el, melyek nemcsak a stressz erősségétől és időtartalmától, hanem a növény fejlődési fázisától és a genetikailag meghatározott stressztűrésétől is függenek (Rizhsky *et al.* 2002; Bartels és Sunkar 2005).

A talajnedvesség csökkenését először a gyökérszőrök érzékelik, s az információkat jelrendszer segítségével (abszcizinsav-szint növekedés) közvetítik a hajtás felé. Első tünetként a sejtben lévő hidrosztatikai nyomás (turgor) csökkenése jelentkezik, a növények ennek hatására bezárják sztómaikat, melynek közvetlen következménye a szövetek feszségének, a sejtfal nyújthatóságának, valamint növekedésének megszűnése lesz (Lobell és Gourdjji 2012). A kisebb fénymegkötés és fotoszintetikus aktivitás hatására csökkent biomassza-tömeg alakul ki (Alaei *et al.* 2010; Balla *et al.* 2014; Dixit *et al.* 2014), kisebb lesz a növény magassága (Kilic és Yagbasanlar 2010; Nawaz *et al.* 2015), a levél területe (Rucker *et al.* 1995), a növényenkénti levélszám, a levél nagysága, a levél élettartama pedig lerövidül (Shao *et al.* 2008). A rendelkezésre álló kevés víz, valamint a csökkentett párolgás hatására Tardieu *et al.* (2000) a kukoricalevél-szövet megnyúlási zónájának rövidülését, ennek következtében pedig a relatív megnyúlási ráta csökkenését tapasztalták. A laterális gyökerek sejtosztódásának korlátozódását, és az elsődleges gyökér fokozott növekedését mérték Xiong *et al.* (2006) *Arabidopsis* növényekben, Sharp *et al.* (1994) pedig kukoricában. A klorofill tartalom csökkenésével hamarabb megindul a szenescencia, s ez az öregedési folyamat magával vonja a respiráció és a fotoszintézis folyamatainak - különösen az érzékeny II. fotokémiai rendszernek (PSII) - a leállását (Czyczyło-Mysza *et al.* 2011). Szárazságstressz során a növényi sejtek fotoszintetikus organelumai (kloroplaszt) sérülnek a reaktív oxigén származékok (ROS) megjelenésének következtében (Chachar *et al.* 2016). A fotoszintetikus apparátus szétesése a fotoszintetikus energiaraktározás kapacitásának és hatékonyságának csökkenéséhez vezet (Srivalli *et al.* 2009; Zhu *et al.* 2009). A szenescencia levelenként szabályozott folyamat, a tápanyagok az idősebb levelek felől a fiatalabbak felé mobilizálódnak, végső soron pedig a zászlóslevélbe. Az itt folyó fotoszintézis a szemtelítődéshez szükséges asszimiláták 30-50%-át termeli meg, mellyel a legnagyobb tápanyag és foto-asszimilátum hozzájárulást végzi (Gregersen *et al.* 2008). Mind az idő előtti, mind a súlyosan késleltetett szenescencia is káros hatású, a tápanyag remobilizációt zavarja (Falqueto *et al.*

2009; Zhu *et al.* 2009), s így befolyásolja a termés hozam alakulását (Saeedipour 2011). Yang és munkatársai (2000, 2001) búza és rizs fajtákban a gyorsabb szenescencia miatt fokozottabb tápanyag mobilizációt figyeltek meg a levelekből, mely rövidebb szemfeltöltődési időt eredményezett és kisebb szemtömegben realizálódott. Több kutatás eredménye is igazolta, hogy a korai és/vagy hatékony tápanyag remobilizáció összefügg a magasabb szemfehérje és kívánatos mikroelem - mint például Fe és Zn - tartalommal (Waters *et al.* 2009).

A vízhiány és az öregedési folyamatok során oxidatív stressz lép fel, mely a reaktív oxigén származékok (pl.: oxigén centrumú szabad gyökök,  $H_2O_2$ ) nagymértékű megnövekedésének hatására a membránlipidek peroxidációját, a kloroplasztiszon belül pedig a ribulóz-1-5-biszfoszfát-karboxiláz/oxigenáz enzimnek (RubP-karboxiláz vagy rubiszko) degradációját okozza (Sedigheh *et al.* 2011). Az enzimek közül az elsők között a rubiszko bomlik el, s ez a növény fotoszintézisét és nitrogén gazdálkodását negatív irányba befolyásolja (Ishida *et al.* 1999). A peroxidáció során toxikus metabolitok keletkeznek (13-hidroperoxi-linolénsav, malondialdehid, 4-hidroxi alkenálok), amelyek a súlyos termésveszteségen felül akár a növény pusztulásához is vezethetnek (Bray 2002).

Az egyedfejlődés reproduktív szakaszában - különösen a meiózis és virágzás során - a szárazságstressz akár 40-70%-os termésveszteséget is okozhat (Habash *et al.* 2009). A szemtermés kialakulásához ép pollenszemekre és ováriumra, a kettős megtermékenyítés zavartalan létrejöttére, az embrió és az endospermium optimális fejlődésére van szükség. Szárazságstressz hatására a szénhidrát-anyagcsere zavart szenved, melynek következtében a belső pollenfal kifejlődése sérül, a pollenszem vegetatív sejtjének citoplazmájában kevés tartalék tápanyag halmozódik fel, ezért a pollen bibepapillasejtek felületén történő megtapadása, valamint a pollentömlő növekedése gyenge mértékű lesz (Barnabás és Fehér 2006). Jäger *et al.* (2013) kísérletében vízmegvonás hatására a vízhiányra érzékeny Cappelle Desprez őszi búzafajta portokjainak mérete lecsökkent, a virágokon belül a portokok mérete heterogénné vált, a pollenszemek egy részének fejlődési üteme elmaradt a kontrollétól, keményítőt felhalmozni képtelen és steril pollenalakok alakultak ki. Hőstresszel párosulva abnormális pollenformák fejlődése is megfigyelhető volt. A megtermékenyülés után a magház szöveti sejtjeinek megnyúlására, az endospermium sejtmagvainak gyors osztódására a vízhiány szintén negatív hatással bír. Az így kialakult kevesebb endospermium sejtszám a termés tömegét, mennyiségét csökkenti (Gao *et al.* 1992; Yang *et al.* 2003). Ha magas hőmérséklet is párosul a környezeti



stresszorhoz, akkor az endospermiumban a keményítő bioszintéziséért felelős enzimek (szacharóz-szintáz, szolubilis keményítő-szintáz) működése gátlódik, mely jelentős változást idéz elő a szemek keményítőszemcse eloszlásában, valamint a fehérje-összetételében (Balla *et al.* 2011), s így a szemtelítődés mértéke kisebb lesz (Yang *et al.* 2004). Balla *et al.* (2011) kombinált stressz (hő és szárazság) hatására csökkent oldhatatlan fehérje polimer frakciót (UPP%) és glutenin/gliadin arányt mutattak ki. A kezelések nemcsak fiatalabb korban, hanem a késői szemtelítődés időszakában is fokozott minőségromlást okoztak. Zhao *et al.* (2009) ugyancsak a késői szemfeltöltődési periódusban figyelték meg az alacsony talajnedvességi szint hatására megváltozott keményítő és ásványi anyag (főleg P, K, Ca és Mg) tartalmat, csökkent lipid mennyiséget. Végül soron a gabonaszemek összetételének változása a térszta erősségét, stabilitásának minőségét, a cipó térfogatát befolyásolja (Tsenov *et al.* 2015).

A szárazságstressz hatására végbemenő fiziológiai folyamatok következtében csökkennek az egyes terméskomponensek mért értékei, a négyzetméterenkénti kalászsűrűség, kalásonkénti szemszám, fertilis kalászkák száma, ezerszem-tömeg és a harvest index (Balla *et al.* 2011; Giunta *et al.* 1993; Jäger *et al.* 2008; Kilic és Yagbasanlar 2010; Nawaz *et al.* 2015).

### **2.2.3. Növényi védekező stratégiák a szárazságstressz-szel szemben**

Az aszálytűrő fajok és fajták elviselik az időszakosan szárazság sújtotta termőhelyek szélsőséges környezeti feltételeit, de teljes „rezisztencia” nem létezhet (Spitkó *et al.* 2013). A növények helyhez kötött életmódjuk miatt folyamatosan ki vannak téve a környezet változó hatásainak. Hogy ezt ellensúlyozni tudják, komplex mechanizmusok sorával monitorozzák a rájuk ható tényezőket, s azonnali válaszként dinamikusan újra tudják programozni metabolikus folyamataikat. A megváltozott és kedvezőtlen külső hatások (talajnedvesség, páratartalom, hőmérséklet, sugárzás) különböző jelátviteli utakat aktiválnak, melynek célja a fizikai stressz biokémiai válaszá alakítása. A védekezési folyamatok során számos stressz-válasz gén aktiválódik, és a teljes szignál kaskád elősegíti a növények akklimatizálódását és stressz toleranciájának kialakulását (Aprile *et al.* 2009).

A növények három fő stratégiát alakítottak ki a vízhiány következményeinek enyhítésére: 'elmenekülés' a szárazság elől, szárazság stressz elkerülése, valamint a szárazság stressz toleranciája (Verslues *et al.* 2006).

A szárazság előli elmenekülés általánosan arra vonatkozik, hogy a növényeknél korán megtörténik a virágzás és az érés, s így nem éri őket a későbbi fenológiai fázisokban szárazságstressz. Enyhe téllal és forró nyárral rendelkező területeken termesztett egynyári növények egyik sikeres védekező stratégiája a gyors növekedés és rövid tenyészidő; így ugyanis lehetővé válik a rendelkezésre álló víz felhasználása mielőtt azt a talaj elvesztené a hőmérséklet emelkedése miatt (Munns *et al.* 2010). Korai virágzásra való szelektálás olyan területeken eredményes, ahol a terminális stressz előre jelezhető. Előnye, hogy a növények képesek elkerülni a későbbi fejlődési fázisban fellépő súlyos vízhiányt. Hátránya viszont, hogy vannak olyan területek -például Amerika és Ausztrália egyes részei- ahol nagyobb az esélye a virágzáskor fellépő fagy károsító hatásának. A korábban virágzó növények rendszerint kevesebb hozammal rendelkeznek, mivel biomassza tömegük és gyökérzetük kisebb, s így kevésbé képesek a mélyebben fekvő vizet hasznosítani. Ahol elegendő nedvesség áll rendelkezésre és a hőmérséklet sem extrém, ott pozitív korreláció van az érésig eltelt napok száma és a hozam között (Rajabi és Ober 2012). Blum *et al.* (1981) szerint a szárazság stressz elkerülése vagy kiszáradás elkerülése a növények azon képessége, mellyel fenn tudnak tartani egy relatíve magas hidratációs szintet vízhiány esetén is. Taiz *et al.* (2015) ezt a kiszáradás halasztásának nevezik. Ennek a védekezési stratégiának az a célja, hogy egyensúlyt tartson a vízfelvétel és a vízleadás között. Fokozódik a vízfelvétel azáltal, hogy a növény növeli az oldott anyagok felvételét, akkumulációját a sejtek vízpotenciáljának csökkentésével, valamint fokozza a gyökér növekedését. Ennél az adaptációs típusnál a növekedés és a hozam képzésében résztvevő sejszintű és fiziológiai folyamatok nincsenek kitéve nedvességhiánynak, vagy pedig kisebb mértékben, mint más stratégiát alkalmazó genotípusokban. Levitt (1980) meghatározása szerint a kiszáradást elkerülő növényeknek két típusa van: *víz-megtartók* és *víz-hasznosítók*. A vízzel 'takarékoskodók' fenntartják a szövetek hidratációját, a transpiráció csökkentésével a sztómák gyors bezárásán keresztül (Claeys és Inzé 2013). A víz-hasznosítók más mechanizmust alkalmaznak a kiszáradás elkerülésére, például: mélyebb gyökérrendszert növesztenek. Ők nagy mennyiségű vizet használnak fel, tovább hidratált állapotban maradnak, sztómáikat nyitva hagyják, a fotoszintézist folytatják. Mondhatnánk úgy is, hogy 'optimista' növények, az esőzésben bízva nem tartják szükségesnek a vízzel való 'spórolást'.

A vízvesztés elkerülésére sokféle mechanizmust fejlesztettek ki a növények. Egyik ilyen ismerős tulajdonság a viaszos réteg a leveleken és a száron egyes vad és

domesztikált növényfajokban. Ez a réteg csökkenti a transpirációt a kutikulán keresztül, valamint a fény visszaverésével a levelek felmelegedése is alacsonyabb szintű. Jelen lehet folyamatosan, bármely vízellátottság esetén, illetve fokozódhat szárazság esetén (Yeats és Rose 2013; Lee és Suh 2015).

A szárazság tolerancia vagy kiszáradás tolerancia a növények szárazsághoz való adaptációjának harmadik fő kategóriája. A cél a sejtkárosodás elleni védelem, amikor is a stressz már olyan súlyosan jelentkezik, hogy a vízvesztés elkerülésének mechanizmusa már nem hatásos. A növények stratégiája nem más, mint gyorsan mozgósítani a kijavító rendszert és csökkenteni a károsodást a szövetekben (Claeys és Inzé 2013). A szárazság tolerancia vagyis vízvesztés tűrése nagyon fontos tulajdonság többek között a gabonafélék magvainak nyugalmi állapotba kerülése során, hiszen az érő szemek drasztikus vízvesztésen mennek keresztül. Ilyen mértékű tolerancia a vegetatív szövetekben nagyon ritka (elsődlegesen a vad típusoknál azonosítható stratégia). Vízziányos állapotban nagyon fontos a sejtmembrán stabilitása, a membrán azon képessége, mellyel élet-, és működőképes marad súlyos stressz hatására is. Amikor a sejt vizet veszít, a membrán elveszti szerkezetét, fluiditását, ami szivárgáshoz, valamint a sejtek és szövetek károsodásához vezethet (Lobell és Gourdji 2012). A molekuláris chaperonok (stresszfehérjék, dajkafehérjék) és a különböző ozmolitok antioxidánsként vagy megkötőként a membránhoz kapcsolódnak és megvédik azt a stressz okozta károsodástól (Aprile *et al.* 2009). Ozmotikusan aktív anyagok például a cukrok (szukróz, raffinóz, trehalóz), cukoralkoholok (szorbitol, D-mannitol), aminosavak (prolin) és aminok (glicin betain, poliamin), melyek magas hidrofilitásuknak köszönhetően növelik a sejtek ozmotikus nyomását. A spermidin (SPD) és a spermin (SPN) poliaminok, prekursoruk a diamin putreszcin (PUT) minden növényi sejtben megtalálható kisméretű alifás szénhidrogén molekulák (Igarashi és Kashiwagi 2000). *Arabidopsisban* hat enzim felelős szintézisükért, amelyeket nyolc gén kódol, ezek közül az ADC2 gén indukálódik ozmotikus stressz, sebzés hatására (Groppa és Benavides 2008). A stresszválaszok 'titokzatos modulátorai' (Hussain *et al.* 2011), hiszen fontos szerepük van a sejt szintű működés széles spektrumában, viszont működési mechanizmusuk kevésbé ismert (Minocha *et al.* 2014). Részt vesznek a sejt pH-jának fenntartásában, mivel pozitív töltésű kationok lévén vonzzák a negatív töltésű sejtkomponenseket (nukleinsavakat, savas foszfolipideket); intracelluláris hírvivőknek is tekinthetők, számos enzimhez kötődésükkel szabályozzák azok működését; makromolekulákkal (DNS, RNS, transzkripció és transzláció)

komplexek), valamint a sejt és sejtiszervek membránjaival való együttműködésük és hozzájuk való kapcsolódásuk révén stabilizálják azokat; közvetlen szerepük van a reaktív oxigén származékok eltávolításában, valamint elősegítik az antioxidáns enzimek termelődését, enyhítve ezzel az oxidatív stressz okozta károkat; szignálmolekulaként vesznek részt az abszcizinsav-szabályozott stresszválaszban; több ion-csatorna szabályozói ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ); a szukróz-keményítő anyagcsere utak résztvevői; a növényi növekedés, fejlődés irányításában, a szemtelítődés szabályozásában, valamint a programozott sejthalálban aktív szereplők (Alcázar *et al.* 2006; Hussain *et al.* 2011; Kusano *et al.* 2007; Liu *et al.* 2013; Yang *et al.* 2008; Wimalasekera *et al.* 2011). Liang és Lur (2002) kukoricában végzett kísérletében az abortált szemek szignifikánsan alacsonyabb poliamin szintjét mérték a normál fejlődésű szemekhez képest. Az alacsony poliaminszint alacsony endospermium sejtszámmal és DNS szinttel korrelált. Rizsben a korai szemtelítődés fázisában a szabad spermidin és spermin magasabb szintjét mérték a fejlettebb kalászkák szemeiben, mely szignifikánsan korrelált az endospermium sejtszámmal és a szemsúllyal (Yang *et al.* 2008). Szintén rizsben az exogén módon spermidinnel és sperminnel kezelt kalászok szemtömege, az endogén hormonok és abszcizinsav mennyisége szignifikánsan magasabb volt, míg az etilén mennyisége szignifikáns csökkenést mutatott a kontroll növényekhez képest (Liu *et al.* 2013). Yang *et al.* (2007) kísérletében szárazságstressz hatására a zászlóslevelek szabad spermidin, spermin és kötött putreszcin tartalmának növekedése szignifikáns korrelációt mutatott a hozam-aránnyal (öntözetlen növények hozama/öntözött növények hozama).

A reaktív oxigén származékok (ROS) toxikus szintjének méregtelenítése során az antioxidánsok enzimatis és nem enzimatis (aszkorbinsav, glutation, karotinoidok) védekező rendszerei aktiválódnak. Számos kísérletben bizonyították, hogy az abiotikus stresszhatás elleni védekezés genotípus függő, azonos stresszkörülmények között különböző válaszreakciók alakulhatnak ki. Rendszerint a toleráns genotípusok magasabb antioxidáns kapacitással rendelkeznek, ami alacsonyabb oxidatív károsodást eredményez (Caverzan *et al.* 2016). Az abiotikus stresszre történő válaszreakciót a növény fejlődési fázisa, a stressz hossza és intenzitása, valamint a szövet típusa is befolyásolja, s ez megmutatkozik a reaktív oxigén származékok termelődésének és a ROS antioxidáns védekező rendszer általi detoxifikálásának komplexitásában is (Varga *et al.* 2012). Enzimatis antioxidánsok közé tartoznak a szuperoxid dizmutáz (SOD), aszkorbát-peroxidáz (APX), kataláz

(CAT), gvajakol-peroxidáz (G-POD), glutation-peroxidáz (GPX) és a peroxiredoxin (PrxR), melyek megtalálhatóak az összes sejten belüli kompartmentumban. Általában egy adott reaktív oxigén-forma megkötéséért több enzim is felelős az organellumokban (Mittler *et al.* 2004). Ezeknek az enzimeknek a sejten belüli egyensúlya nagyon fontos a ROS szintjének csökkentésében, az egyensúly megváltozása számos kompenzációs mechanizmust indukál. A hidrogén-peroxidot ( $H_2O_2$ ) detoxifikáló rendszerek közül a legfontosabb a kloroplaszt aszkorbát-glutation ciklusa, melyben az APX kulcsszerepet tölt be (Asada 1992). Az APX közvetlenül reakcióba lép a reaktív oxigén származékokkal (szuper oxiddal, hidrogén gyökkel), a  $H_2O_2$ -t pedig vízzé alakítja át, így védve a növényi sejtet a reaktív oxigéntől (Caverzan *et al.* 2012; Caverzan *et al.* 2014). Az APX expresszálódásáért felelős több géncsaládot azonosítottak a különböző növényfajokban. Rizsben az antioxidáns enzimek szintjének fokozott kifejeződését, valamint a stresszválaszhoz kapcsolható nyolc gént mutatták ki, míg *Arabidopsisban* 152 gén részvételét figyelték meg a ROS szintjének szabályozásában, ebből kilenc volt köthető az APX enzim termelődéséhez stressz-körülmények között (Mittler *et al.* 2004; Caverzan *et al.* 2014; Passaia *et al.* 2013, 2014). A csökkentett tilakoid aszkorbát-peroxidáz aktivitású mutáns búzatörzsekben a fotoszintézis károsodását mutatták ki (Danna *et al.* 2003), a géncsendesített citoszól APX aktivitású rizs mutánsok esetében a glutation-peroxidáz tartalom növekedését mérték. Ezek a változások a vakuólum citoszóljában hozzájárultak a hidrogén-peroxid tartalom csökkenéséhez (Bonifacio *et al.* 2011).

### **2.3. Nemesítési lehetőségek a szárazságtűrés növelésében**

A szárazságtűrés javítása hazánk kontinentális, szárazságra hajló klímája miatt állandó és szinte minden növényre vonatkozó célkitűzése a növénynemesítésnek. Szárazságtűrésre nemesíteni viszont rendkívül nagy kihívás, hiszen: (1) A szárazságstressz időben, erősségében és gyakoriságában nagyon változó, ez megnehezíti a szántóföldi kísérletek évenkénti pontos ismételhetségét. (2) Általánosan elfogadott elvárásnak lehetne tekinteni, hogy egy szárazságtűrő genotípus a nedvességgel jól ellátott és a vízhiányos környezetben is magas hozammal rendelkezzen, azonban számos szárazságtűrésre irányuló nemesítési kísérletben tapasztalták, hogy a stressz körülmények között magas toleranciát mutató genotípus képtelen nagy hozamot elérni optimális feltételek mellett (Rosielle és Hamblin 1981; Heszky 2012; Dixit *et al.* 2014; Spitzkó *et al.* 2014). (3) A

szárazságtűrés nem egy egyedi tulajdonság - mint például a növénymagasság -, mechanizmusok komplex sorából áll, melyek mindegyikét több gén kontrollálja. (4) A szárazságstressz hatása erősen függ a növények fenológiai fázisától (kiemelten kritikus időszak a virágzás) (Barber *et al.* 2015), valamint más abiotikus stressz faktortól (erős szél, magas hőmérséklet, páratartalom, fagy, só és egyéb ozmotikus stressz). (5) Egyes biokémiai folyamatoknak ellentétes hatásuk lehet különböző stressz tényezőkkel szemben; ezért az egyik stresszhatás leküzdése egy másik szenzitivitásához vezethet (Fleury *et al.* 2010). Sok növény a hőstressz elkerülése érdekében növeli a sztóma konduktivitását, következésképpen az evaporatív hűtést. Víziány esetén azonban a sztóma zárása segít csökkenteni a vízvesztést és fenntartani a turgort alacsony talajnedvesség esetén. Ha a hő és szárazságstressz egyszerre jelentkezik – ami igen gyakori – a növények védekezési stratégiáját a genotípus, a szárazság hossza és mértéke, a növények fejlődési állapota és a szerv, sejt típusa fogja meghatározni (Araus *et al.* 2002). Mivel évről évre változik a szárazság hossza és formája, ezért öntözetlen körülmények között nagyon nehéz olyan kísérletet tervezni, amelynek ismételhető eredményei felhasználhatóak szárazságtűrésre való szelekcióban (Eeuwijk *et al.* 2005; Chenu *et al.* 2011; Fischer *et al.* 2012; Spitkó *et al.* 2014).

### **2.3.1. Rokon és vad fajok, biotechnológia és 'omika' felhasználása a szárazságtűrés növelésében**

Mind a domesztikáció, mind a szelektív nemesítés csökkentette a búza genetikai diverzitását, mely ugyan segítette a mesterséges környezethez való adaptációt, azonban csökkentette a növények szárazságstresszhez való alkalmazkodóképességét (Kumar *et al.* 2008; Budak *et al.* 2013; Reif *et al.* 2005). Általános megfigyelés, hogy a termesztett növényeinkkel rokon, vadon élő fajok számos, agronómiai szempontból értékes génnel rendelkeznek. Különösen gazdag források lehetnek betegségekkel vagy szélsőséges környezeti tényezőkkel (szárazság, fagy) szembeni rezisztenciát biztosító géneknek (Dudits 2003; Trethowan és Mujeeb-Kazi 2008). Ilyen a vad tönke és a *T. boeoticum* genetikai állománya, vagy az *Aegilops tauschii* DD genomja (Nevo és Chen 2010; Sultan *et al.* 2012; Peng *et al.* 2016), melyek olyan agronómiailag hasznos gén allélokat hordoznak, amelyek elengedhetetlenek az abiotikus és biotikus stresszfaktorokkal szembeni túléléshez (Ayal *et al.* 2005; Peleg *et al.* 2008; Peng *et al.* 2013). Az őszi búza szenescenciája gyorsabb, mint a tönke és tönkölybúzáé, utóbbiak 'zölden maradás' tulajdonsága hasznos lehet a hozam

növelésében (Sparkes 2010). Búza-árpa és búza-*Aegilops* biuncialis hibridizációjával (Molnár-Láng *et al.* 2002) létrehozott szubsztitúciós vonalak felhasználása a búza idegen fajú transzlokációk létrehozásában szintén lehetővé teszik olyan kiváló gének átvitelét, melyek növelik a genetikai változatosságot (Dulai *et al.* 2014; Molnár-Láng *et al.* 2014; Türkösi *et al.* 2016). Elégtelen vízellátottság esetén a búzához és tritikáléhoz hasonló teljesítményt mutató Tritordeum (*H. chilense* - *T. durum* amfidiploid) is ígéretes új faj a szárazságtoleranciához kapcsolható gének azonosításában (Villegas *et al.* 2010). Ilyen géneknek a 7R, 5R és 3R kromoszómális elhelyezkedését mutatták ki Mohammadi *et al.* (2003) búza-rozs diszómás addíciós vonalak vizsgálata során. Hoffmann *et al.* (2011) szárazságstressz hatására búza/árpa diszómás addíciós (7DL.5HS) és szubsztitúciós (4H(4D)) vonalak gyökérhossz növekedését és a szár rövidülését mérték, mely a gyökér-szár arányának megváltozását okozta. Az 1RS transzlokációt hordozó 'Pavon' tavaszi búza (Ehdaie *et al.* 2003) és a 'Mv5791-1BL.1RS' búza-rozs transzlokációs vonal (Hoffmann 2007) nagyobb gyökértömegét és a környezeti stresszekhez való jobb alkalmazkodó képességét; míg *Agropyron elongatum* kromoszóma szegmentet (7DL) hordozó búza transzlokációs vonal nagyobb gyökér és hajtás biomassa-tömegét, valamint száraz körülményekhez való jobb adaptálódó képességét Placido *et al.* (2013) írták le.

A biotechnológia eszköztárának felhasználásával történő génmódosítás szintén lehetőséget biztosít a növények abiotikus stresszfaktorokra (hő, szárazság, só) történő válaszainak genetikai manipulációjára (Qin *et al.* 2011 ). A stressz-indukálta transzkripciós faktorok (*DREB1/CBF*, *DREB2*, *AREB/ABF*, *AP2/ERF*, *NAC* és *WRKY*) képesek szabályozni az abiotikus stresszválaszokért felelős gének kifejeződését, irányított expresszállódásuk az egyik lehetséges út a stressztolerancia növelésére (Hu *et al.* 2006; Miller *et al.* 2008; Nakashima *et al.* 2009; Hussain *et al.* 2011; Li *et al.* 2011; Saint Pierre *et al.* 2012). Paradicsom ERF fehérje túltermeltetése rizsben (Zhang *et al.* 2010a), míg az árpa *HVA1* génje (LEA fehérje) búzában, rizsben és zabban is növelte a sejtmembrán stabilitását, a biomasszát, valamint a termés hozamot (Nguyen és Sticklen 2013). Sun *et al.* (2001) transzgenikus *Arabidopsis* növényekben a HSP (hősokk fehérje) által kódolt *AtHSP17.7* gén, míg Sato és Yokoya (2008) az *sHSP17.7* gén 'Hoshinoyume' rizs fajtában való túltermeltetésével érték el a szárazság és sötétítés növekedését. *TaEXPA2* búza sejtfal-fehérjét kódoló génnel transzformált dohány növények nagyobb prolinfelhalmozódása, az antioxidánsok fokozottabb működése általi

alacsonyabb malondialdehid tartalom, a jobb vízstátusz és a hozam növekedése mutatta a szárazságtűrés fokozódását (Chen *et al.* 2016). Rizsben a trehalóz és poliaminok (Garg *et al.* 2002; Capell *et al.* 2004), transzgénikus lucernában pedig egy antioxidás enzim (szuperoxid dizmutáz) túltermeltetése eredményezett nagyobb toleranciát a vízhiánnyal szemben (McKersie *et al.* 1996). A PYL9 és ACBP2 fehérjék túltermeltetése rizsben és *Arabidopsisban* a párologtatásos vízvesztés csökkentésével, az ABA hiperszenzitivitás fokozódása következményeként az idősebb levelekben kiváltott szenescenciával és a fiatal levelek növekedésének gátlásával érte el a GM növények szárazságtűrését (Du *et al.* 2013; Zhao *et al.* 2016). A génexpresszió genom szintű kimutatásának módszertani fejlődése lehetővé teszi a növényi sejtek abiotikus stresszre történő válaszreakcióinak genomikai, proteomikai és metabolomikai analízisét. Az 'omika' alkalmazása hatékony eszköz az abiotikus stresszválaszért felelős gének és jelátviteli utak azonosításában. Azok a toleráns búzatörzsek, melyekben a kulcsfontosságú fehérjéket/enzimeket és metabolikus utakat azonosítják, alapját képezhetik szárazságtoleráns búzafajták létrehozásának (Kaur *et al.* 2016). Kawasaki és munkatársai (2001) elsőként írták le a microarray technológiával tanulmányozott abiotikus stresszválaszok génexpressziós eredményeit rizsben. Ugyancsak rizsben cDNS könyvtárból készített nagyszámú ESTs segítségével 589 gént, számos jelátviteli utat azonosítottak, melyek a szárazságstresszhez köthetőek (Gorantla *et al.* 2005; Houde *et al.* 2006). Rizs fehérjeállomány analízise során a több mint ezer fehérjéből 42 volt, ami eltérően expresszálódott szárazságstressz hatására, és az ADF (Actin Depolymerizing Factor) fehérje megnövekedett mennyisége jelezte változásának fontosságát abiotikus stressz során (Salekdeh *et al.* 2002, Ali és Komatsu 2006). Yang *et al.* (2011) rizs gyökérfehérje analízise során a 700 detektált fehérjéből 15 mutatott vízhiány hatására eltérő választ a vizsgált két fajta esetén. A rizs genomjában 297 olyan gént azonosítottak, amelyek a szemtelítődéshez kapcsolhatóak (Zhu *et al.* 2003), *Arabidopsis* genomban pedig 35 *aquaporin* gént, melyeknek a kifejeződése a gyökérben és a virágban történik (Alexanderson *et al.* 2005). Szárazságstressz során többek között az APX, alfa-amiláz inhibitor, LEA, glükóz-pirofoszforiláz, szaharóz-szintáz, és a triticin prekursor mutattak szignifikánsan különböző expressziós mintázatot a szárazságtűrő 'Kauz' és az érzékeny 'Janz' búzafajta esetén (Jiang *et al.* 2012). A 'Nesser' (szárazság toleráns) és 'Opatá M85' (érzékeny) búzafajta gyökér proteomikai mintázatának összehasonlítása során szignifikánsan nagyobb számú fehérje



expresszálódott ABA-kezelés hatására a toleráns fajtában, mutatva az ABA szerepét a száraz körülményekhez való adaptálódásban (Alvarez *et al.* 2014).

### **2.3.2. Genetikai térképezés a szárazságtolerancia növelésében**

A szárazságtolerancia genetikai alapjának megértése előfeltétele annak, hogy hagyományos nemesítéssel jó termőképességű genotípusokat állítsunk elő. Mivel az abiotikus stressz-tényezők rendkívül változatosak, erősségük, megjelenésük időpontja, hatása gyakran kiszámíthatatlan – sok esetben több tényező is egyszerre hat (pl. hőség és szárazság) -, ezért az élettelen stresszekkel szembeni tolerancia kialakítása igen sok géntől függ (Cseuz és Matuz 2013). A genetikai háttér értelmezését nehezebbé teszi az a tény is, hogy ezek a gének összetett kölcsönhatási rendszerben fejtik ki a hatásukat (Hura *et al.* 2009).

Mivel a szárazságtűrést bonyolult környezeti és genetikai kontroll (többgénes jelleg, alacsony örökölhetőség, nagy genotípus x környezet kölcsönhatás) jellemzi, ezért a nemesítés a fajták stressztűrő képességének növelésében a marker alapú szelekció mellett ma még elsősorban a közvetlen - a szántóföldi teljesítményre alapozott - szelekciós módszert alkalmazza (Fleury *et al.* 2010). Ennek ellenére a genomterképezésben és a funkcionális genomikai technológiában történt legújabb előrelépések a szárazságtűrés molekuláris elemzésében egyre inkább hathatós eszközt nyújtanak (Fleury *et al.* 2010, Ravi *et al.* 2011, Worch *et al.* 2011). Számos kísérletben azonosítottak olyan tulajdonságokhoz kapcsolt molekuláris markereket/genomi régiókat (QTL), melyek kulcsfontosságúak a teljesítmény kialakításában szárazságstressz során. E gének/QTL régiók azonosításával az elsődleges cél a szárazságtűrés molekuláris alapjának jobb megértése, valamint a molekuláris nemesítésben történő felhasználásuk elérése (Bai *et al.* 2004; Richards *et al.* 2010). Hatékony szelekciós módszerhez az vezetne, ha a vizsgált tulajdonság szorosan kapcsolódna az azonosított molekuláris markerekhez. Ezt nehezíti az a tény, hogy (1) a QTL a genetikai háttértől függően változhat, ezért az azonosított QTL gyakran csak az adott vizsgált populációra specifikus; (2) a QTL x környezet interakció nagy lehet; (3) a QTL a fenotípusos varianciának csak maximum a 10-20%-át magyarázza még nagyon pontos fenotipizálás esetén is; (4) a donorból a recipiensbe kerülő QTL hatását pedig nehéz előre jelezni (Richards *et al.* 2010).

A genetikai térképezés (QTL térképezés) tulajdonképpen a genotípusos és fenotípusos eltérések együttes vizsgálatán alapul egy térképező populációban. A

térképezés menete magában foglalja egy térképező populáció kialakítását, amelyben két genetikailag különböző szülőt kereszteznek; a populációban minél több polimorf marker azonosítását; kapcsoltsági térkép elkészítését; és végül a QTL legvalószínűbb elhelyezkedésének meghatározását egyszerű variancia vagy összetett intervallum analízissel (Simple és Composite Interval Mapping). A kapcsoltsági térkép készítésének céljától függően  $F_2$  populációt, backcross populációt, rekombináns beltenyésztett vonalakat (RIL) és DH populációt is használhatunk a vizsgálatokhoz (Collard *et al.* 2005). Az elmúlt két évtizedben a nagy hatékonyságú marker technológiák alkalmazási lehetősége jelentősen megnövekedett, azonban kétszülős populációkban a meiotikus rekombináció általában túl kevés ahhoz, hogy nagy felbontású QTL térképet készítsünk segítségükkel (Li *et al.* 2010). Ehhez járul még az is, hogy a két szülő közötti genetikai diverzitás mértéke és típusa korlátozhatja a populációjukban vizsgálható kromoszóma régiókat, és a polimorf lokuszok esetében is maximum csak két allél fenotípusos hatása jellemezhető egyszerre. Ezeknek a populációknak az előállítása időigényes, valamint komplex tulajdonságok térképezése kis egyedszámú, alacsony genetikai diverzitású populációban az allél hatás túlbecslését, a genetikai variancia nagyságának torzítását okozza ('Beavis hatás') (Xu 2003).

Asszociációs térképezéssel (GWAS) csökkenthetjük a két-szülős térképező populációkra jellemző korlátozó tényezőket, mivel egy diverz (széles genetikai bázisú) fajtakör kiválasztásával 'történelmi' rekombinációkat hasznosítunk, egy lokuszban egyszerre több allél fenotípusos hatását is jellemezhetjük, valamint a nagyobb felbontású géntérképpel növelhetjük a gének detektálásának valószínűségét (Karsai 2012). Genetikai azonosítást érhetünk el a fontos tulajdonságok fenotípusos eltéréseivel összekapcsolt polimorf markerekkel a markerlokuszok közötti kiegyensúlyozatlan kapcsoltság (linkage disequilibrium, LD) útján (Thornsberry *et al.* 2001; Flint-Garcia *et al.* 2003). Nagy előnye ennek a megközelítésnek, hogy nem igényel időigényes és drága genetikai populáció előállítását, valamint a kísérleti elrendezés és a statisztikai módszerek folyamatos fejlesztésével csökkenteni tudjuk a tévesen megállapított pozitív QTL hatást és növelni a kihatású QTL-ek detektálását. Fontos ez azért is, mert a populáció struktúrája és a genetikai rokonság zavarhatja a marker-tulajdonság kapcsolatot, s ez a térképezésben kiegyensúlyozatlanságot (disequilibrium) eredményez valós kapcsoltság nélkül (Jannink és Walsh 2002). Téves kapcsoltságot okozhatnak azok az allélok is, amelyek a kezdeti populációban nagyon alacsony gyakorisággal fordulnak elő (Brescaglio és Sorrells 2006a). Ezek a

faktorok fizikailag nem kapcsolt LD-t képeznek a lokuszok között, s így fals pozitívok nagy arányát okozhatják. Ezért kritikus fontosságú az asszociációs elemzés során elkülöníteni a fizikai kapcsoltság miatti LD-t a populáció struktúrája miatti LD-től.

A GWAS alapmegközelítése nem más, mint értékelni minden egyes genotipizált marker és a fenotipizált tulajdonság közötti kapcsolatot egy nagy egyedszámú populációban. A széles genetikai bázis nemcsak a térképezés felbontóképességét növeli, hanem lehetővé teszi agronómiailag fontos tulajdonságok azonosítását különböző genetikai háttérben (Feuillet *et al.* 2008). Ez a megközelítés úttörő szerepet játszott tíz évvel ezelőtt a humángenetikában (Hirschhorn és Daly 2005; Hindorf *et al.* 2009), s ma már rutinszerűen alkalmazott eljárás számos modell élőlény, mint például *Arabidopsis* (Atwell *et al.* 2010) és egér (Flint és Eskin 2012), valamint nem-modell organizmusok, mint például termesztett növényeink (Huang *et al.* 2012; Ranc *et al.* 2012, Wang *et al.* 2012) és szarvasmarha (Olsen *et al.* 2011) genetikai tanulmányozásában.

### **2.3.2.1. Genetikai markerek alkalmazása a szárazságtolerancia vizsgálatában**

Napjaink kutatásában széles körben használunk genetikai markereket a szárazság indukálta gének helyének detektálására. Genetikai markernek tekintünk általában minden olyan tulajdonságot, amely felhasználható egy fajra, populációra, egyedre (sőt esetleg szövetre, sejtre, kromoszómára) jellemző allél vagy bázissorrend azonosítására, nyomon követésére (mark = megjelöl). A legfontosabb jellemzőjük a környezeti, fiziológiai hatásoktól, és az expresszáldástól való függetlenség, mivel a markert lehetőség szerint bármikor, bármilyen feltételek között ki kell tudni mutatni (Mátyás 2002). A morfológiai markereket (fenotípusos különbségek pl. színben, alakban, méretben) domináns-recesszív öröklődés, környezeti függés, pleiotrópia, episztázis, ritka polimorfizmus jellemzi (Hajósné 1999; Kiss 1999) ezért a kutatás a biokémiai markerek, ezen belül is a DNS szintű molekuláris markerek fejlesztése, használata felé tolódott el.

Az elmúlt 20 év alatt számos molekuláris markertípust fejlesztettek ki [*RAPD* (Random Amplified Polymorphic DNA), *RFLP* (Restriction Fragment Length Polymorphism), *AFLP* (Amplified Fragment Length Polymorphism), *SSRs* (Simple Sequence Repeats)], *DArT* (Diversity Array Technology) és használtak a szárazságtűrés tanulmányozására. Verma *et al.* (2004) *AFLP* és *SSR* markerek bevonásával keresték a zászlóslevél öregedéséért felelős QTL régiót öntözött és

öntözetlen körülmények között őszi búzában. Az ezért a tulajdonságért felelős régiót a 2D kromoszómára térképezték, mely jobb termőképességgel asszociált öntözetlen körülmények között. Breseghello és Sorrells (2006b) SSRs markerek segítségével elsőként térképezték olyan QTL-régiókat a 2D, 5A és 5B kromoszómákra búzában, melyek a szem morfológiai (szemek tömege, területe, hossza, szélessége) és őrlési tulajdonságaiért felelősek. CIMMYT tavaszi búza többtermőhelyes kísérletben a terméshez és terméskomponensekhez kapcsolható QTL régiókat azonosítottak DArT markerek felhasználásával az 1A, 1B, 2D, 5A és 5B kromoszómákon (Edae *et al.* 2014). Laido és munkatársai (2014) SSR és DArT markerekkel a növénymagassághoz, kalászolási időhöz, ezerszem-tömeghez és szemfehérjéhez köthető QTL-eket térképezték durumbúzában. Maccaferri *et al.* (2014) nagy markersűrűségű, szinte a teljes genomot lefedő konszenzus térképet készítettek ugyancsak durumbúzában, GWAS térképezés során pedig a Ppd-A1 és Ppd-B1 gének mellett kis hatású QTL régiókat azonosítottak, melyek a kalászolási időt szignifikánsan befolyásolták.

A ma már klasszikusnak számító molekuláris markerek mellett azonban egyre jobban terjed az egyetlen nukleotidnyi polimorfizmus, ismertebb nevén az *SNP* (single nucleotide polymorphism) markerként való alkalmazása. Tulajdonképpen egy nukleotid megváltozásával létrejött variációtípus, DNS-szekvenciaváltozat, amelyet akkor nevezünk SNP-nek, ha a populáció legalább 1%-ában megjelenik. Mendeli módon öröklődő, kodomináns markereknek tekinthetők, mutációs rátájuk alacsony, kiválóan ismételhetők, kódoló és nem kódoló szekvenciákban egyaránt előfordulnak és egyszerűségük miatt kimutatásuk nagy mennyiségben lehetséges (Gupta *et al.* 2008). Alkalmazhatók különböző genotípusok azonosítására, genetikai térképek készítésére, agronómiai és adaptációs tulajdonságok tanulmányozására. Markerként való használatukhoz először azok genombeli azonosítására, felfedezésére van szükség, ezt követően genotipizálhatjuk a mintákat, tehát azonosságokat vagy különbségeket mutathatunk ki egyedek, populációk DNS-szekvenciái között (Tóth *et al.* 2015). Azonosításuk microarray vagy DHPLC (Denaturing High-Performance Liquid Chromatography) eszközök segítségével lehetséges (Govindaraj *et al.* 2015). Ezek az új array vagy chip-alapú markerek alkalmasak széles fajtakörön végzett asszociációs vizsgálatokra (GWAS), populációk tanulmányozására, szegregációs analízisre (BSA, Bulk Segregant Analysis), mennyiségi tulajdonság kialakításában szerepet játszó kromoszóma régiók (QTL) intervallum térképezésére, a teljes genom 'profiljának' és hátterének tesztelésére (Steinmetz *et al.* 2002; Kim *et al.* 2009; Liu *et*

al. 2014; Talukder *et al.* 2014). Számos gazdaságilag fontos növény (búza, kukorica, paradicsom, szója) és állatfaj (sertés) genomi nagy-sűrűségű SNP elrendezését (array) alakították ki napjainkig és használták sikeresen genetikai tanulmányozáshoz (Wiedmann *et al.* 2008; Ganai *et al.* 2011; Sim *et al.* 2012; Song *et al.* 2013; Wang *et al.* 2014). Zhao és munkatársai (2011) 82 országból származó 413 rizs fajtát 44K SNP markerrel genotipizálva több tucat allélt azonosítottak, melyek 34 különböző morfológiai, fejlődési és agronómiai tulajdonságot befolyásoltak. Kukoricában 50K SNP chip használatával tanulmányozták a szemek keményítő, fehérje és olajtartalmának genetikai kontrollját (Cook *et al.* 2012), valamint vad rokon allél introgressziót azonosítottak a vizsgált 75 vad, tájfajta és nemesített kukorica vonalban (Hufford *et al.* 2012). Búzában 9K SNP chip segítségével kerestek a nemesítési szelekcióban fontos genomi régiókat Cavanagh és munkatársai (2013), míg több, a terméshez és terméskomponensekhez, a nitrogén-hasznosításhoz, normalizált vegetációs indexhez (NDVI), növényi hőmérséklethez, morfológiai tulajdonságokhoz, valamint a hőtoleranciával összefüggő agronómiai tulajdonságokhoz kapcsolható QTL azonosítása vált lehetővé 90K SNP technológia felhasználásával (Edae *et al.* 2013; Cormier *et al.* 2014; Talukder *et al.* 2014; Lopes *et al.* 2015; Sukumaran *et al.* 2015).

### **2.3.3. Szelekciós eljárások a szárazságtűrés növelésében**

Az éghajlati változékonysághoz való adaptáció növelésére a nemesítés során alkalmazott szelekciós módszerek lehetnek *közvetlen* és *közvetett* (indirekt) szelekciós eljárások (Hausmann *et al.* 2012). Gabonafélék nemesítési programjának többségében a legfontosabb cél közvetlenül a hozamra szelektálni, ezért logikus elsődleges szelekciós kritériumnak tekinteni. Gyakran „nagy integrátor”-nak nevezik, mivel tükrözi számos gén, fiziológiai mechanizmus és környezeti faktor kombinált hatását. Örökölhetősége közepes/alacsony még kedvező környezeti feltételek mellett is. Sok esetben megfigyelték azonban, hogy kedvező körülmények között magas hozamra szelektált fajták, szárazság esetén is nagyobb teljesítménnyel bírnak (carry-over effektus) (Juenger 2013). Reynolds *et al.* szerint (2001) a hozam növelésének egyik lehetséges megoldása, ha az általunk választott keresztezési partnerek eltérő morfológiai tulajdonságokra nézve rendelkeznek magas értékekkel (nagy méretű kalász, nagy méretű szem, nagy méretű félig felálló levélzet), így populációjukban ezek kombinálásával növelni lehet mind a source (fotoszintetikus kapacitás), mind a sink (szemszám) arányát egyidejűleg.

Napjainkig a nemesítés hatékonysága folyamatosan növekedett a különböző agronómiai tulajdonságokra történő szelekciónak (magasság, kalászolási/virágzási idő, végfelhasználás szempontjából fontos minőségi paraméterek), az uralkodó betegségek elleni rezisztencia kialakításának, és a hozamra történő több-termőhelyes kísérletek beállításának köszönhetően (Braun *et al.* 2010). Azonban a jelenlegi genetikai tőkét fejleszteni kell a jövőbeni igények kielégítésére, mivel a klímaváltozás hatására az eddig elért eredmények nem tudnak maximálisan érvényesülni. A genetikai előrehaladásban segíthet a kifejezetten hő- és szárazságtűrésre történő nemesítés (Reynolds *et al.* 2009), ezért a keresztezések fő célja olyan tulajdonságok összegyűjtése, amelyek az adott környezetben egymás kiegészítői lehetnek. Száraz körülmények között tehát azok a tulajdonságok, amelyek növelik a vízfelvételt, vízhasznosítást valószínűleg szinergista módon maximalizálni fogják a hozamot is (Richards 2006).

A *közvetett* szelekciós módszer konkrét morfológiai, fenológiai vagy fiziológiai tulajdonság mérésére irányul, s akkor hatékony, ha ezt a jelleget könnyen, gyorsan és olcsón lehet felvételezni (lehetővé téve a nagyobb szelekciós intenzitást), valamint stressz körülmények esetén a tulajdonság és a hozam között erős pozitív genetikai korreláció mutatható ki (Hausmann *et al.* 2012; Tuberosa 2012). Egyszerű megoldásnak tűnne a szárazságtűrésre való szelekcióban, ha a hozamhoz szorosan kapcsolódó morfológiai vagy fiziológiai tulajdonságokat tudnánk találni, ehhez azonban a növénynemesítőknek nagyszámú genotípus precíz, több tulajdonságra kiterjedő fenotipizálását kell végrehajtania több éven keresztül. A legtöbb agronómiai és fiziológiai tulajdonság mérése technikailag nehéz vagy különösen drága, nagyszámú genotípus vizsgálata esetén. Ehhez társul az a tény is, hogy a közvetett tulajdonságokra alapozott különböző szelekciós kritériumok szignifikáns változást mutatnak az eltérő populációkban, tehát szükséges diverzifikáltabb genetikai állományban és több termőhelyen történő vizsgálatuk (Lu *et al.* 2011).

Az elmúlt két évtizedben különböző high-throughput (nagy áteresztőképességű) fenotipizáló technikákat fejlesztettek ki (fenomika), melyeket a búzanemesítésben, genetikai analízisben és modell készítésében használnak a szárazság és hőtolerancia vizsgálatára (Cossani és Reynolds 2012; Lopes és Reynolds 2012; Reynolds *et al.* 2007).

A fenomika két nagy részre osztható: 1. robotizált és nagy felbontású képalkotó berendezések alkalmazása kontrollált körülmények között nevelt növények fejlődésében bekövetkező apró változások detektálására; 2. szántóföldön használt

szenzorok, melyek akár egyidejűleg több tulajdonság mérését is lehetővé teszik (Araus és Cairns 2014).

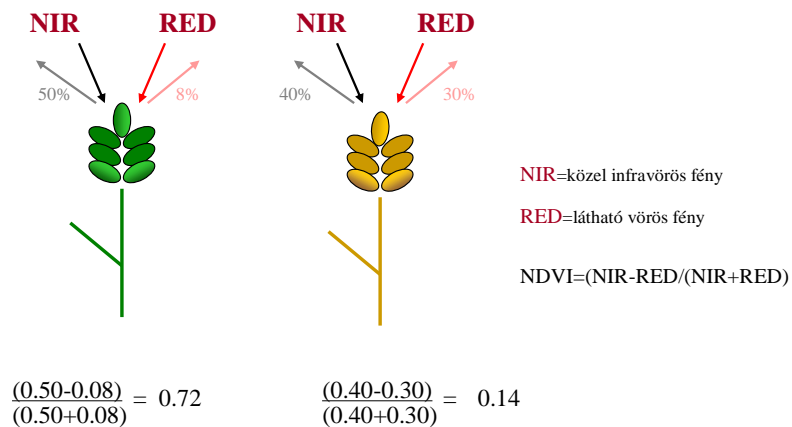
Számos kísérlet is igazolta, hogy a morfológiai tulajdonságok (oldalhajtság szám, kalázonkénti szemszám és szemtömeg, növényenkénti fertilis hajtásszám, 1000-szem tömeg, utolsó szártaghossz, növénymagasság, kaláshossz), fiziológiai és biokémiai tulajdonságok (klorofilltartalom, NDVI, enzimek) a vízhiányra érzékenyen reagálnak, s mint fontos szelekciós kritérium vehetnének részt a szárazságtűrés kialakításában (Blum 2005; Nouri-Ganbalani *et al.* 2009; Aminzadeh 2010). A levelek klorofilltartalma a növényi szövetek fotoszintetikus kapacitásának indikátora, csökkenésének intenzitását befolyásolja a növényfajta, és a stressz foka (Arjenaki *et al.* 2012). Méréseivel következtethetünk a genotípusok fiziológiai állapotára, fotoszintetikus aktivitására, 'stay-green' tulajdonságára, melyek befolyásolják a biomassza, ezen belül pedig a hozam mennyiségét (Bogard *et al.* 2011). Ha a növények tovább zölden maradnak ('stay green, SG'), magasabb teljesítményre lehetnek képesek a hosszabb ideig tartó aktív fotoszintetikus periódus hatására. Mivel ez a tulajdonság nagy variabilitást mutat a növényfajon belül a fajták között (Thomas és Smart 1993), ezért értékes eszköz lehet a hozam és fehérje növelésére irányuló szelekcióban (Foulkes *et al.* 2007). Számos kísérletben mutatták ki a hosszabb ideig zölden maradó fenotípus és magasabb hozam közötti pozitív kapcsolatot (Verma *et al.* 2004; Christopher *et al.* 2008; Lopes és Reynolds 2012; Pask és Pietragalla 2012), míg negatív hatásáról kevés tanulmányban számoltak be (Jiang *et al.* 2004; Kichey *et al.* 2007; Derkx *et al.* 2012). Thomas és Howarth (2000) összefoglalójukban pozitív korrelációt írnak le a késleltetett öregedés és terméshozam között. Azok a növények, amelyek rendelkeztek a 'stay green' tulajdonsággal száraz körülmények között is tovább folytatták a szemek táplálását, feltöltését. Christopher *et al.* (2008) Ausztráliában hat kísérletben is szignifikánsan nagyobb hozamot mutattak ki a 'SeriM82' fajtánál, mely a stay green-fenotípust hordozva hosszabb perióduson át tartotta fenn a zöld növényi levélterületet, mint a helyi viszonyokhoz adaptálódott 'Hartog' fajta. A stay green tulajdonság mérése azonban nem egyszerű, hiszen az öregedés folyamata nem egységes az egész növényen belül. Megkezdődik az idősebb, alsóbb levelekben és felfelé halad, oly módon, hogy már csak a zászlóslevelek maradnak zöldek (Fischer és Feller 1994). Mivel a zászlóslevél központi szerepet játszik a N felvételben (Hirel *et al.* 2007) és a C remobilizációban (Tahir és Nakata 2005) - ezen keresztül pedig hatással van a szemfehérje és a hozam alakulására - ezért a szenescencia vizsgálatának alapját

képezi. Mint a legfiatalabb levél, a zászlóslevél a szem nitrogén tartalmának ~18%-át tudja szolgáltatni kalásonként (Wang *et al.* 2008), az asszimilátáknak pedig ~30–50%-át szemtelítődés során (Sylvester-Bradley *et al.* 1990). A szenescencia mérésére többféle módszer alkalmazható: (1) vizuális pontozás (Verma *et al.* 2004; Fois *et al.* 2009; Gaju *et al.* 2011); (2) digitális fotóleképezés (Adamsen *et al.* 1999); (3) a levélszövet fényáteresztő-képességének mérése vörös ( $\lambda=650$  nm) és infravörös ( $\lambda=940$  nm) hullámhosszokon, mellyel meghatározható a relatív klorofilltartalom index (SPAD-érték=0,0-99,9) (Christopher *et al.* 2008; Adu *et al.* 2011; Derkx *et al.* 2012); (4) a levélszövet fényelnyelő és fényvisszaverő képességéből számított spektrális reflexiók (fényvisszaverési) indexek meghatározása a látható ( $\lambda=400-700$  nm) és a közeli infravörös hullámhosszokon ( $\lambda>700$  nm) (Orhan *et al.* 2014). Ezek az indexek attól függően, hogy milyen tulajdonságokat akarunk vizsgálni, három fő csoportba sorolhatóak. Az első csoportba azok az indexek tartoznak (NDWI-modified Normalized Difference Water Index; GMI- Gitelson és Merzlyak Index), melyeket az infravörös fény méréséből származtatnak és a növény hidratációs állapotát jellemzik (Babar *et al.* 2006; Zarate-Valdez *et al.* 2012). A második csoportba a látható vörös tartományból származó mérések eredményeit használják fel olyan indexek felállításához (PRI-Photochemical Reflectance Index; NCPI-Normalized Chlorophyll-Pigment ratio Index), melyekkel a növényi pigmentek sűrűségét és összetételét lehet megbecsülni (Magney *et al.* 2016; Gizaw *et al.* 2016). A harmadik csoportba a látható és a közeli infravörös tartomány együttes használatából származtatott vegetációs indexek tartoznak (SR-Simple Ratio; NDVI-Normalized Difference Vegetation Index; GNDVI-Green Normalized Vegetation Index; MCARI-Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index). Segítségükkel különbségeket lehet kimutatni a szenescencia mértékében, a fotoszintetikus aktivitásban, a 'zölden maradás' időtartamában (El-Hendawy *et al.* 2015; Lopresti *et al.* 2015). Az adatok felhasználhatóak a korai növekedési erély, a termés, a biomassza akkumuláció és a növekedési ráta előrejelzésére (Stenberg *et al.* 2004; Lopes és Reynolds 2012), valamint hosszabb időbeli skálán vegetációs index idősor is felállítható.

A mérési módszer azon alapul, hogy a növényi levelekben található klorofill molekulák a fotoszintézis során a fényt a látható vörös tartományban nagymértékben elnyelik, míg az infravörös tartományban visszaverik, így az infravörös és a vörös fényintenzitások arányosításával képzett indexek szoros összefüggésben állnak a növényi szövet klorofilltartalmával, fotoszintetikus aktivitásával (4. ábra). A



vegetációs index -1 és +1 közötti tartományban lehet, a hó, a vízfelület és a felhők negatív értéket mutatnak, nullához közeli mérések a növényzet hiányát jelzik, míg a növényállomány pozitív NDVI értékkel bír (Aparicio *et al.* 2000; Jones *et al.* 2007; Dobos *et al.* 2012; Bányai és Láng 2014).



4. ábra. A növények fényelnyelő és fényvisszaverő képessége ([https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php))

#### 2.4. Durumbúza eredete, genetikája, elterjedése

A durumbúza (*T. turgidum* subsp. *durum*) az egyik legrégebben termesztett növényfaj a világon, származási helyének Közép és Közel-kelet Ázsia, Észak Afrika egyes régiói tekinthetők. Domesztikációja 12 000 évvel ezelőtt a Termékeny Félhold területén indult el, régészeti leletek bizonyosága szerint 2000 évvel a búza termesztésbe vonása előtt (Gioia *et al.* 2015). Őse a vad tönke (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*), melyből az első domesztikált tetraploid tönke (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) alakult ki (Kilian *et al.* 2010; Feldman és Levy 2012). Ez a faj adta az ősi egyiptomiak kenyérének alapanyagát, azonban termesztésének hanyatlásával ma már csak néhány hagyományos gazdálkodást folytató közösségben található meg Oroszországban és Etiópia egyes területein. A *T. dicoccumból* származó tetraploid durumbúza (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) a tönke sorozat csupasz szemű leszármazottja.

A búzatermelés 5-8%-át adja, így a második legnagyobb területen termesztett búzafaj a világon. Tészta, kenyér, kuszkusz, freekeh és bulgur is készíthető belőle. A világ durumbúzát termő területének 75-80%-a a Mediterrán medencében található, a legnagyobb durumbúza termő területek ebben a térségben Szíria, Törökország, Olaszország, őket követi Marokkó, Algéria, Tunézia, Spanyolország és Franciaország (Habash et al. 2009). Magyarországon vetésterülete 2011-2015 időszakában átlagosan 14,3 ezer hektár volt (KSH, 2016), 2016-ban azonban duplájára nőtt (30,4 ezer ha), ami a közönséges búza vetésterületének 2,89%-a. A durumbúza *Triticum turgidum* L. var. durum ( $2n=4x=28$ ; BBA<sup>u</sup>A<sup>u</sup>) genom mérete  $\sim 12 \times 10^9$ , s mivel a kenyérbúzánál jobban alkalmazkodik a mediterrán száraz klímához, így jó modellnövénye a szárazságtűrés vizsgálatának.

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A kísérletben vizsgált genotípusok

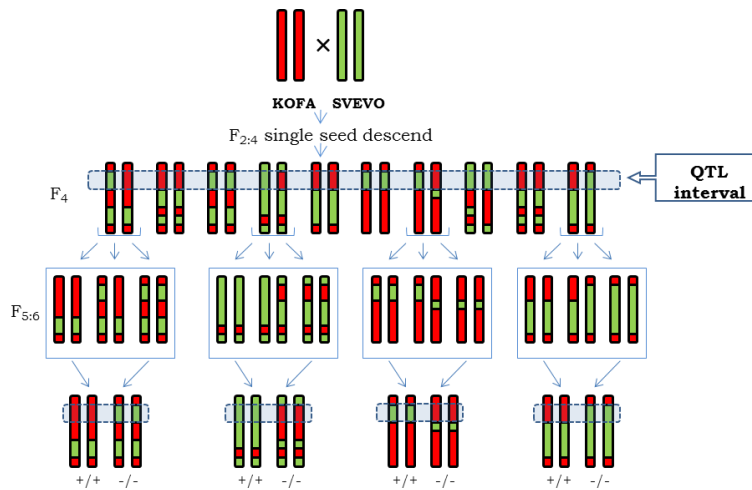
Disszertációmiban az *EU FP7 DROPS (FP7-244374)* pályázat durumbúza kísérleteinek genotípusait vizsgáltam. A 188 durumbúza genotípust (*T. durum* Desf.) tavaszi vetésben öntözött és természetes csapadékellátottságú ismétlésekben (GWA panel) vetettük el (2. melléklet). A kísérletek olyan különböző országokból (Olaszország, Mexikó, Marokkó, Spanyolország, Szíria, Tunézia, USA) származó fajtákat, tájfajtákat és törzseket tartalmaztak, melyeket az elmúlt 40 év során széles körben használtak a Mediterrán országok nemesítői (Maccaferri et al. 2011). Kísérletbe vonásuk alapja közel azonos virágzási idejük, melynek célja az volt, hogy a kezelések, felvételezések és mérések időpontja azonos fejlődési stádiumában érje a növényeket. Ez segített annak elérésében, hogy összehasonlíthatóvá váljanak a vizsgálatba vont genotípusok, valamint pontosabban meghatározható volt a stresszre történő különböző vagy éppen azonos válaszreakciójuk. A 188 fajtából, a Bolognai Egyetem által végzett előzetes kísérletek alapján, kiválasztásra került 20 magas hozamú genotípus (Core panel), melyeket részletesebben vizsgálatunk a kísérleti években (1. táblázat).

1. táblázat. Core panel (Martonvásár, 2011-2013)

Sorszám	Genotípus	Származás
1	1807	Marokkó
2	Amedakul-1	Szíria
3	Chabha88	Szíria
4	Cham1	Szíria
5	Ciccio	Olaszország
6	Gallareta	Spanyolország
7	Heider	Mexikó
8	Italo	Olaszország
9	Karim	Tunézia
10	Kofa	USA
11	Marjana	Marokkó
12	Meridiano	Olaszország
13	Mexicali75	Mexikó
14	Miki-1	Szíria
15	Omrabi5	Szíria
16	Ouaser1-1	Szíria
17	Pietrafitta	Olaszország
18	Quadalete	Szíria
19	Svevo	Olaszország
20	Zeina1	Szíria

2013-ban és 2014-ben szántóföldi, valamint 2014-ben elhúzható esővédő polietilén tetővel rendelkező kísérleti területen vizsgáltunk nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzset, melyek a 'Kofa' x 'Svevo' tavaszi durumbúza keresztezés négy különböző rekombináns beltenyésztett vonalából származnak (5. ábra). A két fajta kiválasztásának kiindulópontja közel azonos virágzási idejük és a Mediterrán medencében végzett több termőhelyes kísérletekben mutatott jó adaptálódó képességük volt. Az izogén törzsek előállításának alapja terméshozam QTL-ekre történő szelekció volt, a kísérlet célja pedig e törzsek szárazságstresszre történő válaszána vizsgálatá.

A hozamra két jelentős QTL régió lett meghatározva számos környezetben, egyik a 2B kromoszómán (QYld.idw-2B), másik a 3B (QYld.idw-3B) kromoszómán, köztük szignifikáns episztatikus kapcsolattal, valamint minden esetben a 'Kofa' allélhoz köthető jobb termőképességgel (Maccaferri *et al.* 2008). Az utódpopuláció F<sub>4</sub> generációig single seed descent módszerrel lett létrehozva, majd kapcsolt markerek (MAS) segítségével kiválasztották azokat a törzseket, melyek a 3B kromoszóma rövid karján elhelyezkedő QYld.idw-3B QTL-ben különböztek egymástól.



5. ábra. Durumbúza közel izogén törzsek előállítása  
(Società Produttori Sementi, Bologna)

Az izogén törzsek mindegyike a 'Kofa' allélt hordozta a 2B kromoszóma hosszú karján található QYld.idw-2B lokuszban, így a kiválasztott törzsek a 3B kromoszóma rövid karján található QYld.idw-3B lokuszban lehetnek 'Kofa' típusúak (KK<sub>2BL</sub>KK<sub>3BS</sub>), melyet ++ kóddal jelöltünk, vagy 'Svevo' típusúak (KK<sub>2BL</sub>SS<sub>3BS</sub>), melyeket -- kóddal jelöltünk. A kísérletben szereplő közel izogén törzsek jelölései: NIL1++, NIL1--, NIL2++, NIL2--, NIL3++, NIL3--, NIL4++, NIL4--.

### 3.2. A kísérleti területek

A szárazságtűrés vizsgálatára irányuló kísérleteinket 2011-2014 tenyészidőszak közötti négy évben Martonvásáron, a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet „Tükrösi” tenyészkertjében és az elhúzható esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti területen állítottuk be (3. melléklet). Célunk volt a többéves kísérletekben szereplő különböző genotípusok azonos termőhelyi elhelyezése, hiszen szántóföldi kísérletek során az azonos termesztési terület választásával csökkenthetjük a környezet hatását, s ez segít annak elérésében, hogy az egyes vizsgált tulajdonságokban bekövetkező változások alapja minél nagyobb arányban a genetikai szabályozás különbségeinek legyen tulajdonítható.

### 3.2.1. A szántóföldi kísérleti terület jellemzése



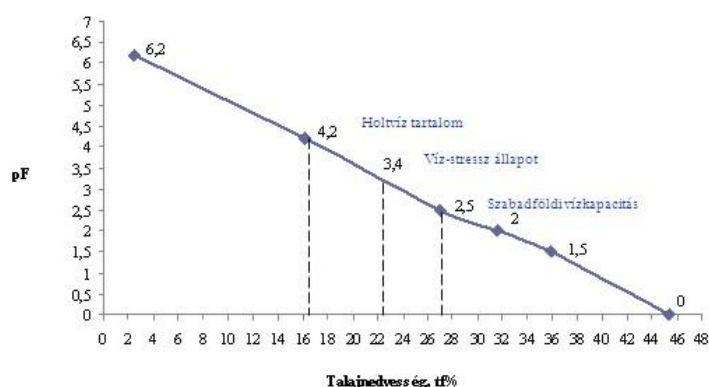
6. ábra. A kísérlet elhelyezkedése a „Tükrösi” tenyészkertben (Martonvásár, 2011-2014)

A szántóföldi kísérleti terület („Tükrösi” tenyészkert) Budapesttől 35 km-re, Észak-Nyugat irányba fekszik, 110 m tengerszint feletti magasságban. Földrajzi koordinátái:  $47^{\circ}18'39.81''\text{É}$ ,  $18^{\circ}46'42.83''\text{K}$  (6. ábra). Talaja erdőmaradványos csernozjom, mely jó kultúrállapotú, valamint jó vízbefogadó és víztartó képességgel rendelkezik. Közepesen mély (40-60 cm) humuszos termőréteg jellemzi (7. ábra), átlagos humusztartalma 2,3% (0-30 cm mélységben). Arany-féle kötöttségi száma 43, a művelt réteg kémhatása  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  8,02-8,08 közötti. Szénsavas mész 125 cm-en fordul elő, ebben a mélységben mért mésztartalom 18%. A talajvíz kilenc méter mélyen helyezkedik el.



7. ábra. A „Tükrösi” tenyészkert talajszelvénye (Martonvásár, 2011)

A kísérleti terület talajának víztartó képességét a különböző nedvességpotenciálokhoz tartozó nedvességtartalmakkal a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Velencei Talajvédelmi Laboratóriuma határozta meg. Az egyes pF-értékeknél mért nedvességtartalmak alapján általunk felállított pF-görbéről leolvasható, hogy a szabadföldi vízkapacitás (VKsz) 27 tf%-nál, a holtvíz tartalom (HV) 16,2 tf%-nál állapítható meg. A növények víz-stressz állapota (pF3.4) 22,3 tf%-nál következik be, ez az a talajnedvességi érték, melynél az állomány szenvedni kezd az elégtelen vízellátottság miatt (8. ábra).



8. ábra. A talaj pF-görbéje a martonvásári kísérleti területen

### 3.2.1.1. A szántóföldi kísérletek beállítása, elrendezése, alkalmazott agrotechnikai műveletek

Nagy területi elhelyezkedése miatt a kísérleteket nem-kiegyensúlyozott alfa-rács (unbalance incomplete alpha-lattice block design) elrendezésben vetettük el. Mivel két genotípus nem szerepelt együtt kétszer ugyanazon blokkon belül, a környezeti hatások (pl. talaj heterogenitás) jobban kontrollálhatóak voltak, valamint a genotípusok közötti összehasonlítás pontosabbá vált.

Minden évben a kukorica elővetemény betakarítását szárzúzás, 15:15:15 arányú komplex NPK műtrágyázás, 25-27 cm mély szántás és hengerezés követte. A tavaszi talajelmunkálás után a vetést HEGE-80 vetőgéppel, 12 cm-es gabonasortávval, 8 sorral és 4,8 millió csíra/ha vetőmag mennyiséggel végeztük. A parcellák nagysága 0,96 m x 4 m, 3,84m<sup>2</sup> volt. Tavasszal a vetést követően 3-4 héttel további 60 kg/ha dózisu N-hatóanyagot juttattunk ki 27%-os ammónium-nitrát formájában.

A 2011-ben 100, 2012-2013 években 188 genotípusból álló durumbúza kísérlet (GWA panel) öt ismétlésben lett elvetve. Ebből két ismétlés öntözött (W), három ismétlés természetes csapadékkellátottságú (RF) volt (2. táblázat).

2013-ban és 2014-ben elvetésre kerülő nyolc durumbúza közel izogén törzs kísérletei (NILs) két vetési sűrűségben (320 csíra/m<sup>2</sup> alacsony, 480 csíra/m<sup>2</sup> normál), nyolc ismétlésben öntözött (W), nyolc ismétlésben természetes csapadékkellátottságú volt (NW).

2. táblázat. A vetés és aratás ideje a kísérlet éveiben (Martonvásár, Tükrösi-tenyészkert)

Kísérlet éve/Kísérlet	Vetés ideje	Aratás ideje
2011 / GWA panel, Core panel	03.16.	07.16.
2012 / GWA panel, Core panel	03.09.	07.13.
2013 / GWA panel, Core panel, NILs panel	03.12.	07.17.
2014 / NILs panel	03.13.	07.21.

Az öntözés Micro-sprinkler vízszugaras öntözési technológiával, a kijutatott víz pontos mennyiségének mérése ECRN-100 0,2 mm érzékenységgű csapadékmérővel történt. A kapacitív talajnedvesség-mérők (5TE-Decagon Devices, USA) 30 és 60 cm mélységben, öt helyen lettek elhelyezve a GWA panel és nyolc helyen a NILs kísérletben. A mérőfejek keléstől aratásig óránként rögzítették a talaj nedvességtartalmát (%), hőmérsékletét (°C) és fajlagos elektromos vezetőképességét (mS/cm). Az öntözés idejének pontos meghatározása MPS-2 tenzióméterrel történt. Az öntözött kísérleti területen -30-40 kPa értéknél a talaj vízzel jól átitatott, azonban -40 kPa-nál kisebb érték esetén meg kellett kezdeni az öntözést az optimális fejlődés és terméshozam elérése érdekében. Az időjárási adatokat (levegő hőmérséklet, páratartalom, globál sugárzás, szélereősség, csapadék mennyisége) a kísérleti területtől 10 méterre elhelyezkedő meteorológiai állomás szolgáltatta a tenyészidőszak végéig.

2011-ben három alkalommal öntöztünk a tenyészidő során, virágzás előtt öt nappal (Zadoks65) 45 mm, virágzás után öt nappal (Z65) 65 mm, késői tejesérésben (Z77) 57 mm öntözővizet kijuttatva. 2012-ben négy alkalommal történt öntözés, amelynek mennyisége a különböző növekedési stádiumokban a következő volt: kalász hasban (Z45) 55.8 mm, kalász félig kiemelkedett (Z55) 59,2 mm, korai tejesérés (Z73) 62,2

mm, tejesérés közepe (Z75) 44,4 mm. 2013-ban az öntözött területen, a tenyészidőszak folyamán a kalász hasban (Z45) fejlődési stádiumtól kezdve a korai viaszérésig (Z83) hét alkalommal öntöztünk, összesen 224 mm csapadéknak megfelelő vízmennyiséggel. A 2014-es tenyészidőszakban öt alkalommal volt öntözve kalász hasban (Z45) fejlődési stádiumtól kezdve a korai viaszérésig (Z83), összesen 95,6 mm csapadéknak megfelelő vízmennyiséggel.

A tenyészidőszak alatt gyomok ellen Granstar SuperStar, rovarok ellen Fury 10 EW, valamint Amistar Xtra gombaölő szer kijuttatására került sor.

A parcellák betakarítása Wintersteiger Nursery Master parcellabetakarító kombájnokkal történt, teljes érésben, 12,5% szemnedvesség-tartalom elérését követően.

### ***3.2.1.2. A szántóföldi kísérletekben vizsgált morfológiai, fiziológiai, termésbiológiai tulajdonságok és azok módszertana***

A szántóföldi GWA panelben, Core panelben és NILs kísérletekben a felvételezésre kerülő tulajdonságokat a 3. táblázat részletesen tartalmazza évenkénti bontásban, a vizsgálatba vont genotípusszámmal együtt.

A kísérleti parcellákon rögzített paraméterek és azok meghatározási módszere:

- Korai fejlődés: vizuálisan értékelve (1-től 5-ig skálán); V29-31: az első nádusz megjelenése előtt (Z29-31) és V33: 3. nádusz megjelenésekor (Z33). Értékelési kategóriák: 1: nagyon gyenge növekedési erély, jóval az átlag alatt; 2: gyenge növekedési erély, átlag alatti; 3: átlagos növekedési erély; 4: élénk növekedési erély, átlag feletti; 5: erős, jóval az átlag feletti növekedési erélyt mutatva.
- Kalászolási idő (HD): napok száma január 1-től, amikor a parcella főkalászának 50%-ában a kalásztartó szártag 1 cm-re kiemelkedik a zászlóslevél hüvelyéből (Z59).
- Virágzás ideje (FD): napok száma január 1-től, Z65 fejlődési stádiumban rögzítve, amikor a virágzás félig megtörtént a teljes parcellán.
- Érés ideje (MD): napok száma január 1-től, Z92 fejlődési stádiumban felvételezve, amikor a szem kemény, nem benyomható.
- Növénymagasság (cm): zászlóslevél (FLC); kalász aljáig (BE); kalász tetejéig (TE-szálka nélkül), valamint kalászhossz (EL) mérése.



- Zászlóslevél klorofilltartalmának mérése: parcellánként 15 főkalász zászlóslevelének klorofilltartalma kalász hasban (Z45), virágzás (Z65), késői tejesérés (Z77), korai viaszérés (Z83), viaszérés vége (Z85) fejlődési stádiumokban mérve. A levél öregedésének nyomonkövetése Konica-Minolta SPAD (Single Photon Avalanche Diode) -502 típusú, hordozható klorofillméterrel történt (Adu *et al.* 2011).
- NDVI (normalizált vegetációs index): kalász hasban (Z45), virágzás (Z65) és korai viaszérés (Z83) fejlődési stádiumban mérve minden ismétlésben, parcellánként 40-60 mérésből számolt átlag alapján. A mérések GreenSeeker-505 típusú (Ntech Industries, USA) hordozható kézi műszerrel történtek, 660 és 770 nm-es hullámhossz tartomány között, 50 cm-es magasságban a növényállomány felett (Domínguez *et al.* 2015).
- Zászlóslevél terület (cm<sup>2</sup>): virágzáskor (Z65) 10 reprezentatív növény (melyek körül nem volt hiányzó egyed) főhajtás zászlóslevél területének mérési átlaga LI-3100C (Biosciences, USA) levélterület mérő felhasználásával.
- Zászlóslevél relatív víztartalma (RWC%): virágzáskor (Z65) három reprezentatív növény (a parcella középső sorából, melyek körül nem volt hiányzó egyed) főhajtás zászlóslevél relatív víztartalmának meghatározása. Mintaszedéskor a frissen levágott zászlósleveleket azonnal csomagoltuk, jégre raktuk és a laborba szállítottuk. Minden egyes mintából 2 cm<sup>2</sup> nagyságú, betegségektől mentes darabot vágunk ki, majd lemértük a friss tömegüket (FW, g). Ez után 24 órára, desztillált vízzel fedve 4°C-on, hűtőszekrényben, sötét körülmények között tartottuk őket, majd megmértük a vízzel telített levelek tömegét (TW, g). A száraz tömeg eléréséhez a mintákat 24 órán át szárítószekrényben, 70°C-on szárítottuk és száraz tömegüket mértük (DW, g). Ezekből a paraméterekből az  $RWC = (FW - DW) / (TW - DW)$  egyenlettel számoltuk ki a relatív víztartalmat (RWC).
- Biomassza tömeg (kg): kalász hasban (Z65) és érés (Z91) fejlődési stádiumban 10 reprezentatív növény (melyek körül nem volt hiányzó egyed) föld feletti teljes biomassza friss és szárított (70°C-on 2 napon át) tömegének meghatározása.
- A zászlóslevél antioxidáns (APX-aszkorbát-peroxidáz, GPX-gvajakol-peroxidáz) tartalmának meghatározása három ismétlésben történt virágzáskor

(Z65). Az enzimmérésekhez 0,5 g növényi anyagot dörzsöltünk el 2,5 ml 0,5 M Trisz-HCl (pH=7,5) pufferben (3 mM MgCl<sub>2</sub>, 1 mM EDTA). A spektrofotometriás (UV–VIS 160A, Shimadzu Corp. Kyoto, Japan) meghatározást Pál *et al.* (2005, 2013) által leírtaknak megfelelően hajtottuk végre. Aktivitásuk, percenkénti abszolút változásuk meghatározása 1g szárazanyagra történt [g<sup>-1</sup> DW].

- A zászlóslevél szabad formában lévő poliamin (PUT-putreszcin, SPD-spermidin és SPN-spermin) tartalmának mérése három ismétlésben Pál *et al.* (2013) által leírtaknak megfelelően történt 0,5 g növényi mintából HPLC analízissel, virágzáskor (Z65). Mennyiségük meghatározása 1g szárazanyagra történt [g<sup>-1</sup> DW].
- Termékeny hajtásszám (FTN): 1 m<sup>2</sup>-en lévő összes kalász száma, mely legalább egy szemet tartalmaz. Meghatározása manuálisan történt, 0,5 m<sup>2</sup>-es keret elhelyezésével a parcellák középső részein.
- Szemtermés meghatározása: a hektáronkénti szemtermés a parcellánként betakarított termésből lett meghatározva. A kísérleti anyagok ezerszemtömegének, a szemek szélességének (mm) és hosszának (mm) mérése Marvin (Digital Seed Analyser) mérőműszerrel történt.
- Terméketlen kalászkák száma, elhelyezkedése; kalásonkénti szemszám, szemtömeg meghatározása: érést (Z92) követően a kiemelt 20 fajta minden parcelláján, mind az öt ismétlésben 15 főkalászon az alapi és steril kalászkák számának és elhelyezkedésének meghatározása.

### **3.2.1.3. A szántóföldi kísérletekben vizsgált genotípusok genetikai vizsgálata**

A 2014-ben elkészített durumbúza konszenzus térképet a Bolognai Egyetem bocsátotta rendelkezésünkre (Maccaferri *et al.* 2014). A DNS minták 90K Infinium elemzését a TraitGenetics GmbH végezte el (<http://www.traitgenetics.com>). A konszenzus térkép 13 kapcsoltsági térképet egyesít (elit x elit, elit x T. dicocum, elit x T. dicoccoides), mely 30 144 DArT, 26 626 SNP és 791 SSR markert tartalmaz. Ebből az általunk vizsgált 188 durum búza genotípus elemzésére 25 146 SNP marker állt rendelkezésünkre.

### 3.2.2. Az elhúzható esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti terület jellemzése



9. ábra. Az esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti terület (Martonvásár, 2014)

Az elhúzható esővédő polietiléntetővel rendelkező terület klímája megegyezik a szántóföldi kísérletekével, viszont a természetes csapadék teljesen kizárható (9. ábra). A tető állandóan nyitott állapotban van (biztosítva ezzel az azonos mikroklímát), melyet az esőérzékelő rendszer azonnal zárni tud. A talajvíz oldalirányú beszivárgását az 1,5 m mélységig elhelyezett vízzáró fólia, a kapillaris elven történő feláramlását a terület alatt lévő ősi kavicsos patakmeder akadályozza meg. Az esősátor alatti terület talajának kémiai vizsgálatát és víztartó képességét a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Velencei Talajvédelmi Laboratóriuma végezte el 2014-ben. 30 cm-es mélységig az átlagos humusztartalom 2,02%, az Arany-féle kötöttségi szám 39, a művelt réteg kémhatása 7,04, a  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$  tartalom 19,1 mg/kg volt. A szabadföldi vízkapacitás (pF 2,5) értéke 29 tf%, holtvíztartalma (pF 4,2) 10,3 tf% volt 30 cm-es mélységében. Ezekből az értékekből felállított pF-görbe alapján a víz-stressz állapot (pF 3,4) 19 tf%-nál következik be.

#### 3.2.2.1. Az elhúzható esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti terület beállítása, elrendezése, alkalmazott agrotechnikai műveletek

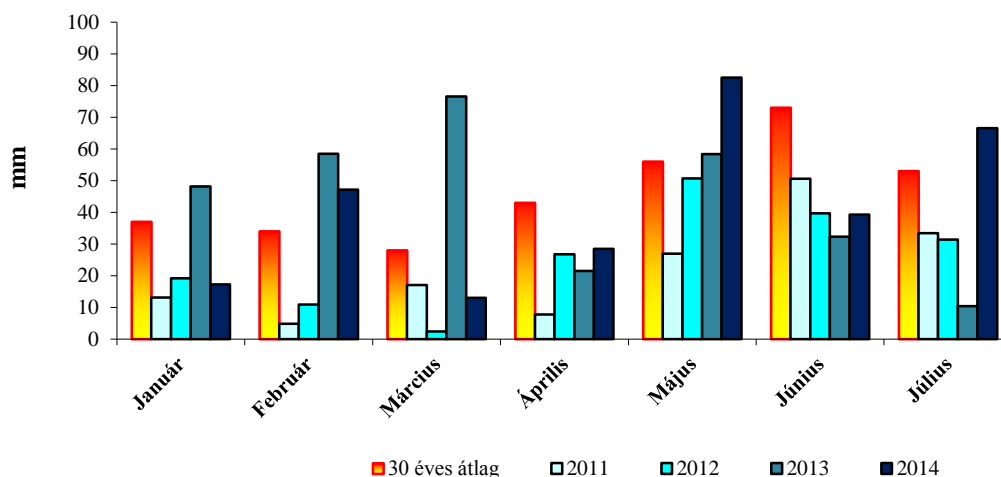
A kísérlet (NILs-RS) során két különböző kezelést alkalmaztunk: (i)-öntözetlen (NW) és (ii)-öntözött (W) az egész tenyésztési folyamán. Egy törzsből 50 szemet vetettünk soronként, 3 cm tőtávolsággal, 15 cm sortávolsággal, így a random módon elhelyezett törzsek 12-szer szerepeltek kezelésenként. A vetés időpontja 2014. 03. 17., míg az aratásé 07. 14. volt. Az esősátor alatt található hat kísérleti parcella (3,4

m × 5 m) egyedileg öntözhető, a területre jutó vízmennyiséget automata, csepegtető öntözőrendszer szabályozza (Irritrol Junior Max, The Torro Company, Lyndal, USA). A talaj nedvességtartalmának változását 10, 20, 30, 40, 60 és 100 cm mélységben, két helyen elhelyezett PP2 típusú műszer (Delta-T Device, Cambridge, Egyesült Királyság), valamint minden kezelésbe kitelepipített kapacitív talajnedvességmérők (5TE-Decagon Devices, USA) követték nyomon. Óránként rögzítette a talaj nedvességtartalmát (%), a hőmérsékletét (°C) és elektromos vezetőképességét (dS/m). A tenyészidőszak alatt gyomok ellen védekeztünk. Az időjárási adatokat (levegő hőmérséklet, páratartalom, globál sugárzás, szélereősség, csapadék mennyisége) az 500 méterre elhelyezkedő meteorológiai állomás szolgáltatta a tenyészidőszak végéig.

3. táblázat. A felvételezett tulajdonság és a vizsgálatba vont genotípusok száma

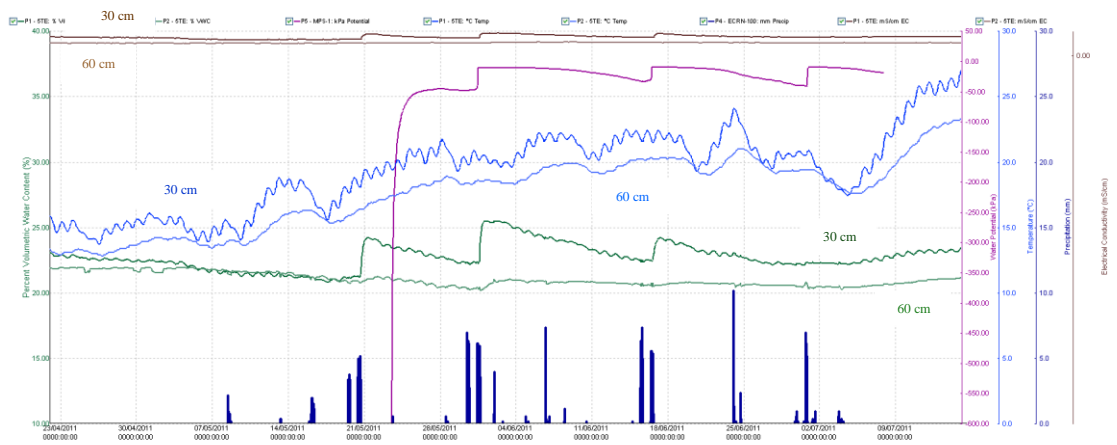
Kísérlet neve	GWA panel, Core panel						NILs		NILs-RS	
	2011		2012			2013		2013	2014	2014
Genotípus szám (db)	20	100	20	100	188	20	188	8	8	8
Korai fejlődés (Z29-31)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Korai fejlődés (Z33)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kalászás ideje	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Virágzás ideje	✓		✓			✓		✓	✓	✓
Érés ideje	✓		✓			✓		✓	✓	✓
Magasság a zászlólevél aljáig	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Magasság a kalász aljáig	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Magasság a kalász tetejéig	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Utolsó szártag hossza										✓
Kalász hossza	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Termékeny hajtás száma	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
Klorofill tartalom (Z45)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Klorofill tartalom (Z65)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Klorofill tartalom (Z77)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Klorofill tartalom (Z83)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Klorofill tartalom (Z85)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
NDVI (Z45)	✓		✓			✓		✓	✓	
NDVI (Z65)	✓		✓			✓		✓	✓	
NDVI (Z83)	✓		✓			✓		✓	✓	
Zászlólevél terület								✓	✓	✓
Teljes növényi levélterület										✓
Zászlólevél relatív víztartalma								✓	✓	✓
Biomassza tömeg (Z65)								✓	✓	
Biomassza tömeg (Z91)								✓	✓	
Zászlólevél APX, GPX aktivitás								✓		✓
Zászlólevél poliamin tartalom								✓		✓
Kalászkaszám/kalász	✓		✓			✓		✓	✓	
Szemszám/kalász	✓		✓			✓		✓	✓	

### 3.3 A kísérleti évek meteorológiai adatai és a kísérleti területek vízellátottsága



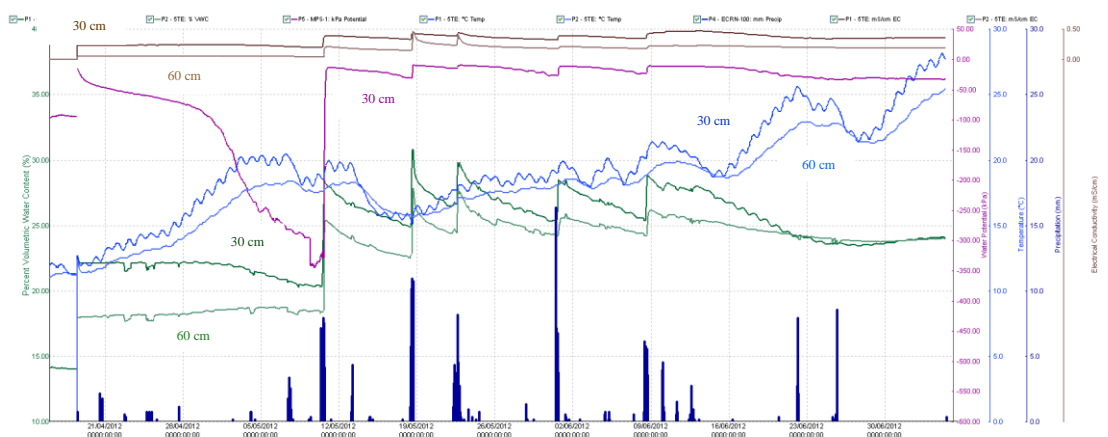
10. ábra. A havonkénti csapadékmennyiség alakulása a kísérleti években (Martonvásár, MTA MGKI meteorológiai állomása)

A négy kísérleti évből 2011 és 2012 aszályos év volt, a 30 éves átlagértékekhez viszonyítva jól látszik, hogy minden hónapban kevesebb eső hullott, így a vegetáció időszakában nem volt a növények szükségleteinek elegendő csapadékmennyiség. 2011-ben 236,8 mm eső esett Martonvásáron, ami a 30 éves átlagnak (559 mm) csupán 42%-a. (10. ábra; 4. melléklet, 2. ábra). A szórványos csapadék ellenére a talajnedvesség hamar lecsökkent 21-22 tf%-ra (5. melléklet, 1. ábra), a tavaszi vetésű növények vízhiánnyal küzdöttek keléstől egészen az aratásig. Mivel a tavaszi búza gyökereinek 75-80%-a a feltalajban helyezkedik el, a 30 cm-es mélységben mért talajnedvesség adatok jól mutatják a szárazságstressz kialakulását. Kalászolás (Z45: május 20-25), virágzás (Z65: május 24-30) és szemtelítődés során 19,3-19,64 tf%-ra csökkent a talajnedvesség, mely a kritikus 22,3 tf%-nál jóval alacsonyabb, s jelzi a víz-stressz állapot kialakulását. Az aszályhoz magas hőmérséklet is párosult, mely az evaporációt gyorsította (4. melléklet, 3-4. ábra). Az öntözött ismétlésekben a május 20-án, 31-én és június 16-án kijuttatott 45, 65 illetve 57 mm öntözővíz biztosította a jó vízellátást, a tenzió -10 és -35 kPa között változott a gyökérszónában (11. ábra).



11. ábra. A —talajnedvesség, —talajhőmérséklet, —fajlagos elektromos vezetőképesség, —tenzió és csapadék alakulása az öntözött ismétlésekben (GWA panel, Core panel, 2011)

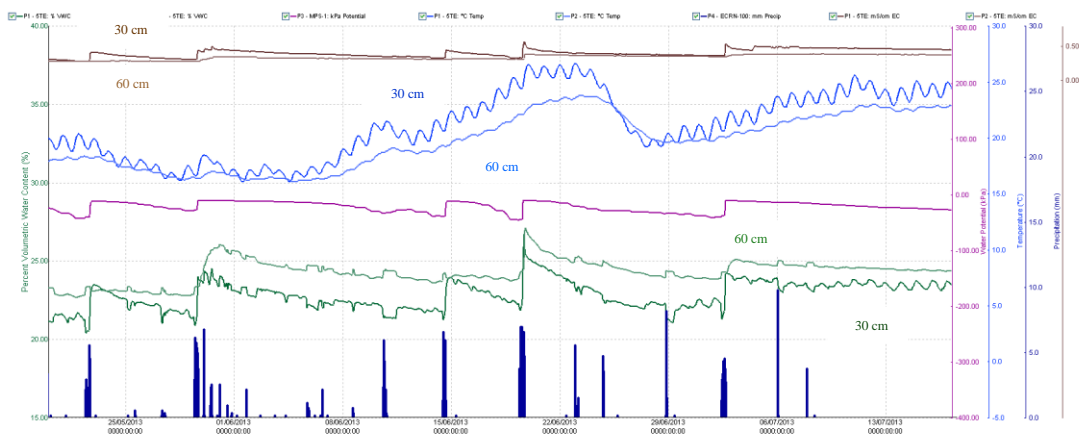
2012-es évben már vetéskor száraz volt a talaj, hiszen csapadékszegény volt az előző év tenyészidőszaka és a téli hónapok is (4. melléklet, 1. ábra). A talaj 30 cm-es mélységében mért talajnedvesség átlagosan 16-17 tf% között alakult a Z45 és Z65 fejlődési stádiumokban, valamint a szemtelítődés idején (5. melléklet, 2. ábra). Ezek az értékek jól mutatják, hogy a növények számára nem volt elegendő vízmennyiség az optimális fejlődéshez és terméshozam eléréséhez. A szárazságstresszhez hőstressz is párosult, a virágzás utáni huszadik naptól (Z75) kezdve egészen az aratásig a napi maximális hőmérsékletek átlaga 32,2 °C volt. Az öntözött ismétlésekben összesen 221,6 mm kijutatott vízmennyiség hatására a talajnedvesség 30 cm-es talajmélységben átlagosan 27,04 tf%, 60 cm-es mélységben 25,01 tf% volt, a Z45 és Z65 fejlődési stádiumokban (12. ábra). A tenzió a szemtelítődés egész ideje alatt sem csökkent -30 kPa érték alá, mely jelzi a növények jó vízellátottságát.



12. ábra. A —talajnedvesség, —talajhőmérséklet, —fajlagos elektromos vezetőképesség, —tenzió és csapadék alakulása az öntözött ismétlésekben (GWA panel, Core panel, NILs kísérlet 2012)

A csapadék eloszlása 2013-ban az áprilisi csapadékhiánytól eltekintve kedvező volt a kalászosok számára. A természetes csapadékelátottságú ismétlések adatai is

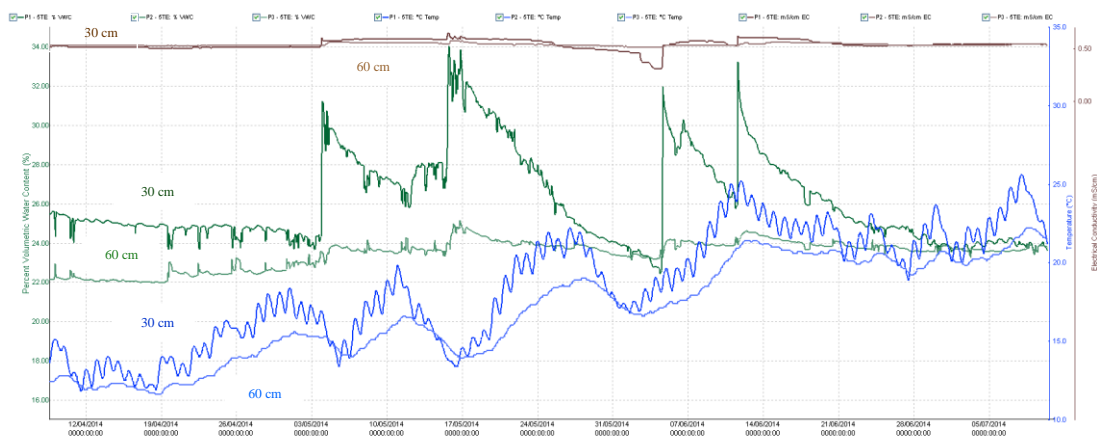
mutatják a kiegyensúlyozott vízellátást (5. melléklet, 3. ábra), csak a viaszérés (Z83) megkezdése után csökkent le a kritikus 22,3tf% alá a talajnedvesség 30 és 60 cm-es mélységben. Ezt az időszakot hőség jellemezte, június második és harmadik hetében a maximum hőmérsékletek átlaga 29,7°C volt. Öntözés hatására a tenyészidőszak végéig jó vízellátottsággal rendelkeztek a növények az öntözött ismétlésekben (13. ábra), a fajlagos elektromos vezetőképesség átlagosan 0,4 mS/cm, a tenzió átlagosan -20,75kPa volt.



13. ábra. A —talajnedvesség, —talajhőmérséklet, —fajlagos elektromos vezetőképesség, —tenzió és csapadék alakulása az öntözött ismétlésekben (GWA panel, Core panel, NILs kísérlet 2013)

2014-es év márciusában és áprilisában a 30 éves átlagos csapadékmennyiségnek (71 mm) csak kicsivel több, mint a fele hullott (41.4 mm), a mélyebb talajrétegek nedvességgel való feltöltődését viszont segítette a 47,1 mm februári bőséges csapadék (138%) mennyisége. Április végétől egészen május végéig záporok, zivatarok jellemezték a tenyészidőszakot, májusban 47%-kal több csapadék esett (82,5 mm) a 30 éves átlaghoz (56 mm) viszonyítva. A talajnedvesség virágzás (Z65) után kezdett csökkenni (5. melléklet, 4. ábra), melyhez a május 20.-ától mért magas hőmérsékletek is hozzájárultak. A természetes csapadékelátottságú ismétlésekben a szentelítődés idején 22,3tf%-nál kisebb értékek mutatják, hogy kevés víz állt a növények rendelkezésére. Az öntözött ismétlésekben a talajnedvesség az ötszöri öntözés hatására átlagosan 24tf% volt (14. ábra).

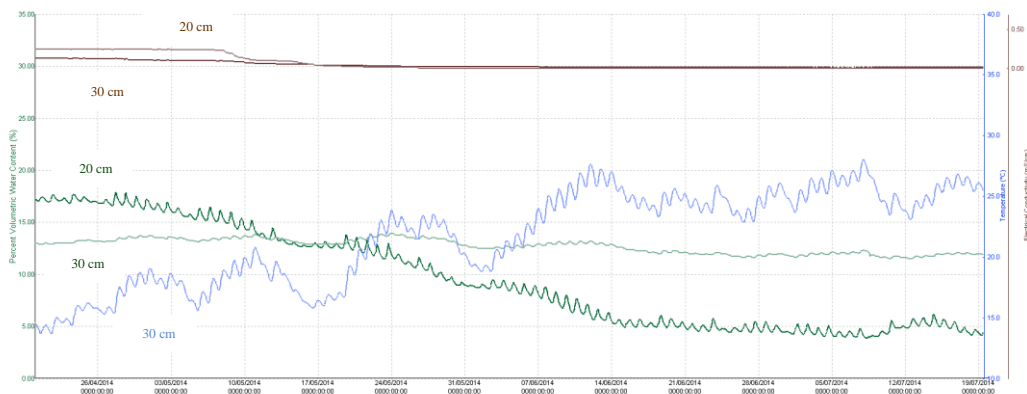




14. ábra. A —talajnedvesség, —talajhőmérséklet, —fajlagos elektromos vezetőképesség, — tenzió és csapadék alakulása az öntözött ismétlésekben (NILs kísérlet 2014)

Az esősátor alatti öntözetlen terület talajnedvessége 30 cm-es mélységben már vetéskor 13 tf% alá csökkent, mely érték az egész tenyészidő során alig változott (15. ábra). A talajhőmérséklet 30 cm-es mélységben júniustól átlagosan 25°C volt, míg 20 cm-en a 31°C-ot, 5 cm-es mélységben pedig 36,8°C-ot is elérte.

Az öntözött kezelésben jó vízellátást biztosítottunk vetéstől a tenyészidőszak végéig. A talajnedvesség 20 cm-es mélységben átlagosan 28 tf%, míg 30 cm-es mélységben 25-26tf% volt, mely elegendőnek bizonyult a növények zavartalan vegetatív és generatív fejlődéshez. A talajhőmérséklet 22-23°C között mozgott (5. melléklet, 5. ábra).



15. ábra. A —talajnedvesség, —talajhőmérséklet, —fajlagos elektromos vezetőképesség, — tenzió és csapadék alakulása az esősátor öntözetlen ismétléseiben (NILs-RS kísérlet, 2014)

### 3.4 Az adatelemzés és értékelés módszerei

Az évenkénti, valamint az évek együttes fenotípusos adatainak varianciaanalízisét Genstat18 szoftvercsomag lineáris véletlen/vegyes hatás modelljével elemeztük (REML-Linear Mixed Models). A vizsgált tulajdonságok és az alkalmazott kezelések

közötti kölcsönhatások és összefüggések megállapításához főkomponens elemzéseket, a legjobb teljesítményű genotípus kiválasztásához főkomponens biplot elemzést végeztünk. A felvételezett paraméterek közötti kapcsolatok vizsgálatához General Linear Model (GLM) regresszió, Pearson-féle korreláció és Spearman-féle rangkorreláció számítását alkalmaztunk Statistica6 szoftvercsomag felhasználásával. A genotípusok közötti szignifikancia szint megállapításához Duncan-féle tesztet használtunk, a napi kumulatív hőösszeg (TT) számítását Bogard *et al.* (2015) alapján végeztük.

Az adatok felvételezéséhez pontosan megállapítható fejlődési stádium meghatározásához a Zadoks-skálát vettük alapul (Zadoks *et al.* 1974), mely a gabonanövények fejlődési szakaszait sorolja be tíz csoportba, decimális skálát alkalmazva (6. melléklet).

AUSDC (Area Under SPAD value Decline Curve) és AUVIC (Area Under Vegetation Index Curve) értékek kiszámításához Rosyara *et al.* (2007) módosított egyenletét használtuk, mely a genotípusosan hosszabb ideig zölden maradó (Stay Green, SG) egyedek kiválasztására ad lehetőséget. A genotípusok különböző időpontokban mért SPAD illetve NDVI értékeiből felállított görbe alatti terület meghatározott időszakra kalkulált nagyságát mutatja meg.

$$\text{AUSDC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{G(i+1)+G(i)}{2} \right] * [D(i+1)-D(i)]$$

$G_i$  =  $i$ -edik napon mért SPAD érték,  $D_i$  =  $i$ -edik nap,  $n$  = napok száma.

$$\text{AUVIC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{V(i+1)+V(i)}{2} \right] * [D(i+1)-D(i)]$$

$V_i$  =  $i$ -edik napon mért NDVI érték,  $D_i$  =  $i$ -edik nap,  $n$  = napok száma.

Az örökölhetőségi/ismételhetőségi értékszám kiszámításánál az additív variancia helyett közvetlenül a megállapított varianciakomponenseket szerepeltettük (Mátyás 1974).

$$h^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 G + \frac{\sigma^2 G \times \acute{E}}{\acute{E}} + \frac{\sigma^2 G \times K}{K} + \frac{\sigma^2 G \times \acute{E} \times K}{\acute{E} \times K} + \frac{\sigma^2 m}{\acute{E} \times K \times r}}$$

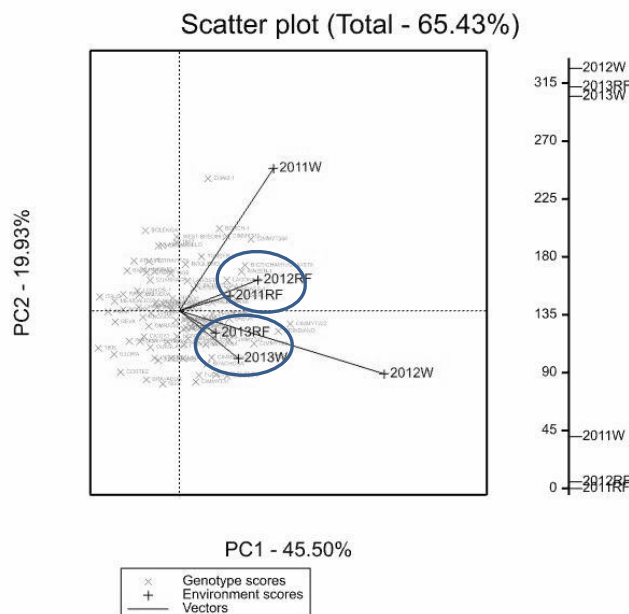
$\sigma^2_G$ : genetikai variancia,  $\acute{E}$ : év, K: kezelés, m: hibatag, r: ismétlések száma.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### 4.1. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúzában

Szántóföldi kísérletünkben részletesen vizsgáltuk a tavaszi durumbúza fajták egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságainak változását három egymást követő évben. Célunk volt olyan tulajdonságok keresése, amelyek elégtelen vízellátottság esetén is szoros kapcsolatot mutatnak a magasabb terméshozammal. A statisztikai elemzésekben meghatároztuk a genotípus, évjárat és kezelés (öntözés) hatását a vizsgált tulajdonságcsoporthoz, valamint elemeztük a tulajdonságcsoporthoz közöti összefüggéseket. Meghatároztuk azokat a genotípusokat, amelyek nagy hozamstabilitással rendelkeznek és ehhez magasabb teljesítmény is párosul.

#### 4.1.1. Szárazságstressz hatása a durumbúza GWA-panel egyedfejlődésére, morfológiai, fiziológiai tulajdonságaira és termésképzésére



16. ábra. A kezelések közötti kapcsolati rendszer három évjáratban GGE-biplot analízis alapján (GWA panel, 2011-2013)

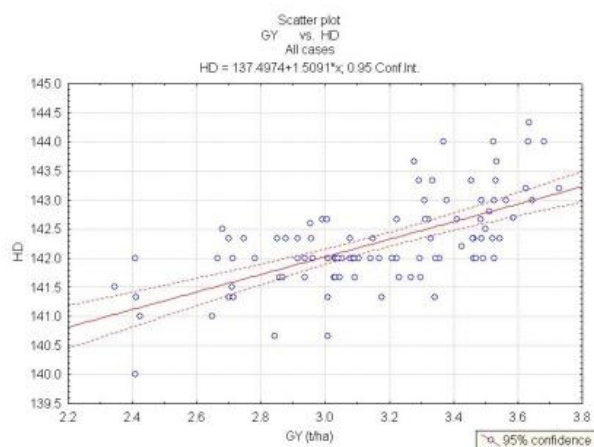
A környezeti vektorok elhelyezkedése alapján, a 2011-es és 2012-es évek természetes csapadékellátottságú (RF) ismétlései külön csoportot alkottak az öntözött

(W) ismétléseiktől, míg a csapadékos 2013-as év RF és W ismétlései közös csoportot hoztak létre (16. ábra). A csoportokon belüli kísérletek közötti szoros kapcsolat arra utal, hogy az egyes genotípusokról kapott információ nagyon hasonló, vagy megegyezik az azonos csoportot alkotó kezelések között.

Nemcsak a vízellátottságban, hanem a tenyészidőszakon belüli hőmérsékleti adatokban is különböztek ezek a csoportok. A 2011-es és 2012-es évek öntözött ismétlései közötti eltérés ezeknek a faktoroknak az additív hatásaként jöhetett létre. A nappalossal korrigált effektív hőösszeg a 2013-as évben vetéstől a kelés utáni egy hónapig tartó időszakban, illetve a szemtelítődés során tért el szignifikánsan a többi vizsgált évtől a csapadékosabb időjárás miatt. A legtöbb hőegység 2012-ben akumulálódott (1197, 3 °C), míg a legkevesebb 2013-ban (1101,7 °C).

#### 4.1.1.1. Az egyedfejlődési paraméterek változása

Az egyedfejlődési paraméterek közül a kalászolási időt vizsgáltuk a GWA panelben, mely a száraz, csapadékszegény időjárás hatására 2011-ben átlagosan 142 nap volt mindkét kezelésben, míg 2013-ban kitolódott átlagosan 149 napra (7. melléklet). A kalászolási időre jellemző volt, hogy meghatározásában a variancia komponensek közül a genotípus és az évjárat szinte azonos arányban játszott szerepet, a fenotípusos variancia 45%-41,4%-át magyarázva. Ezt követte a kezelés, amelynek szignifikáns hatása 11,5% volt (8. melléklet). Magasabb terméshozamot (3,5 t/ha) a későbbi kalászolási idővel (KAL > 143 nap) rendelkező fajták adtak 2011-ben ( $r = 0,647^{***}$ ) a természetes csapadékelátottságú (RF) ismétlésekben (17. ábra), 2012-ben és 2013-ban a genotípusok hozama és a kalászolási idő között nem volt összefüggés.

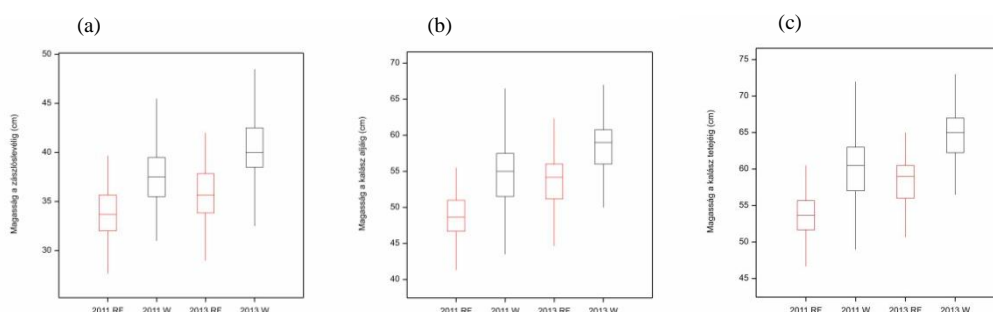


17. ábra. A fajták kalászolási ideje (HD) a terméshozam függvényében 2011-ben, természetes csapadékelátottság esetén (GWA panel, Martonvásár, 2011)

#### 4.1.1.2. A növénymagasság változása

A morfológiai tulajdonságok vizsgálata magában foglalta a növénymagasság különböző paramétereinek és a termékeny oldalhajtásszámnak a felvételezését.

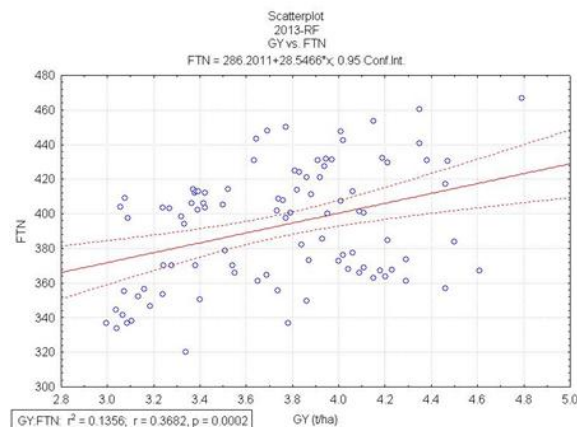
A zászlóslevélig (FLC), kalász aljáig (BE) és tetejéig (TE) mért magasságokra együttesen jellemző volt, hogy meghatározásukban a variancia komponensek közül a kezelés (öntözés) játszotta a legnagyobb szerepet, a fenotípusos varianciák 24,7%; 27,4% és 33,24%-át magyarázva egyenként. A genotípus hatása mindhárom vizsgált paraméternél szinte azonos volt (10,3%; 14,5%; 12,3%), míg az évjárat hatása a BE és TE tulajdonságoknál volt magasabb (20,3%; 19,55%). Az örökölhetőségi/ismételhetőségi értékszámokban alig volt különbség a három magassági tulajdonság esetén ( $h^2 = 0,731-0,749$ ). A csapadékos tavasz hatására 2013-ban nem volt szignifikáns különbség a magasságokban, ellenben 2011-ben mindhárom felvételezett paraméter esetén szignifikáns csökkenés következett be az alacsony talajnedvességi szint hatására (18. ábra). A kalásztartó szártag hosszában (zászlóslevéltől kalász aljáig mért távolság) nem alakult ki különbség sem az évek, sem a kezelések között. A kalász hossza ugyan változott öntözés hatására, de a kalászhoz és a terméshozam között nem tudunk kapcsolatot kimutatni.



18. ábra. A magassági paraméterek [(a) FLC, (b) BE, (c) TE] átlagértékei közötti különbségek a két vizsgálati év és a kezelés függvényében. RF-természetes csapadékelátottságú, W-öntözött ismétlések (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

A 2011-es öntözetlen ismétlésekben jellemzően közepesen szoros, szignifikáns pozitív kapcsolatot mutattak a magassági paraméterek a terméshozammal (FLC:  $r = 0,360^{***}$ ; BE:  $r = 0,411^{***}$ ; TE:  $r = 0,428^{***}$ ). A teljes növénymagasság tekintetében a fajták két csoportot alkottak, az első csoportban ( $GY < 3,4$  t/ha) lévő fajták 53,4 cm-es magassággal (a teljes populáció 70%-a), míg a második csoport ( $GY > 3,4$  t/ha) fajtái 56 cm-es átlagos magassággal rendelkezett.

A termékeny hajtásszám meghatározásában a variancia komponensek közül az évjárat játszotta a legnagyobb szerepet, a fenotípusos variancia 19,65%-át magyarázva, ezt követte a genotípus (15,29%) és a kezelés (10,40%) hatása, melyek kölcsönhatásaikkal együtt alakították ki a közepes ismételhetőségi értékszámot ( $h^2 = 0,480$ ). A terméshozammal a 2013-as vizsgálati év természetes csapadékellátottságú ismétléseiben mutatott szignifikáns pozitív kapcsolatot ( $r = 0,368^{***}$ ), (19. ábra), míg a többi kezelésben nem.



19. ábra. A fajták termékeny hajtásszám értékei a hozam függvényében 2013-ban, természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel, Martonvásár, 2013)

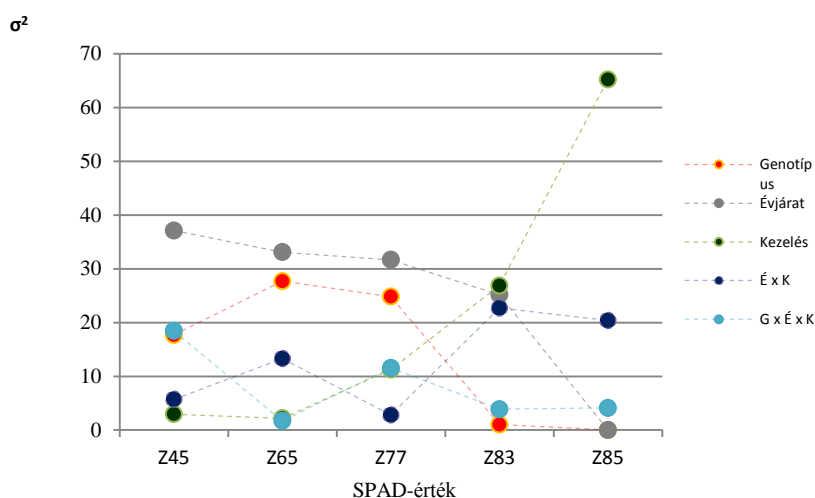
#### 4.1.1.3. A klorofilltartalom változása

A fiziológiai tulajdonságok csoportjába a zászlólevél klorofilltartalmának öt fenofázisban (Z45, Z65, Z77, Z83, Z85) történő mérése tartozott.

Az öt különböző egyedfejlődési fázisban mért SPAD-értékek fenotípusos variancia-értékeinek alakulásából jól látszik, hogy a kalászlás, virágzás és tejesérés fejlődési stádiumokban a genotípusokra az évjárat nagyobb hatást gyakorolt, mint a kezelés (a fenotípusos variancia 37,1%, 33% és 31,6%-át magyarázva). A kezelés hatása a klorofill tartalomra az egyedfejlődés előrehaladtával nagymértékben növekedett, a Z83 és Z85 fejlődési stádiumokban e tényező fenotípusos hatása volt a legnagyobb (26,9% és 65,2%), (20. ábra).

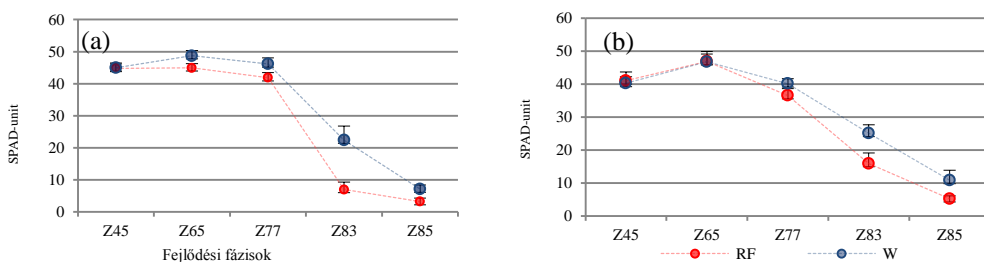
A SPAD-értékek kéttényezős varianciaanalízise során a vizsgált években a Z45, Z65 és Z77 fejlődési stádiumokban szignifikáns ( $P \leq 0,001$ ) genotípus-hatás érvényesült, az örökölhetőségi/ismételhetőségi értékszám is ezekben az egyedfejlődési fázisokban

voltak magasak (0,71; 0,83; 0,73). Az öntözésnek a Z65 fejlődési stádiumtól lett szignifikáns hatása egészen a viaszérés végéig (7. melléklet).



20. ábra. Évjárat, genotípus és öntözés, mint varianciakomponensek hatása a SPAD-értékek fenotípusos varianciáira az egyedfejlődés függvényében (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

A legmagasabb SPAD-értékeket Z65 fejlődési stádiumban mértük, tejesérésig a klorofilltartalom enyhe, majd ezt követően nagymértékű csökkenést mutatott mindkét kezelésben (21. ábra). Az öntözés hiánya legnagyobb mértékben a Z83 és Z85 fejlődési fázisokban csökkentette a klorofilltartalmat a száraz 2011-es évben. A csökkenés átlagos mértéke korai viaszérés stádiumában 68,9% volt, míg viaszérés végén 54,3%. A Z83 fázisban 0,49-es  $h^2$  értéket számoltunk, ami viaszérés végére a nullához közelített. A csapadékos tavaszú 2013-as évben a genotípusok SPAD83 értékei és a termés hozam között szignifikáns korrelációt nem tudtunk kimutatni az öntözetlen ismétlésekben. 2011-ben azonban voltak olyan fajták, amelyek a 3,6 t/ha-t meghaladó termésátlag mellett tovább zölden maradtak, hosszabb ideig megtartották klorofilltartalmukat, melyet igazol, hogy a SPAD83 és GY értékek közötti korreláció szignifikáns szintű volt ( $r = 0,436^{***}$ ) (9. melléklet).

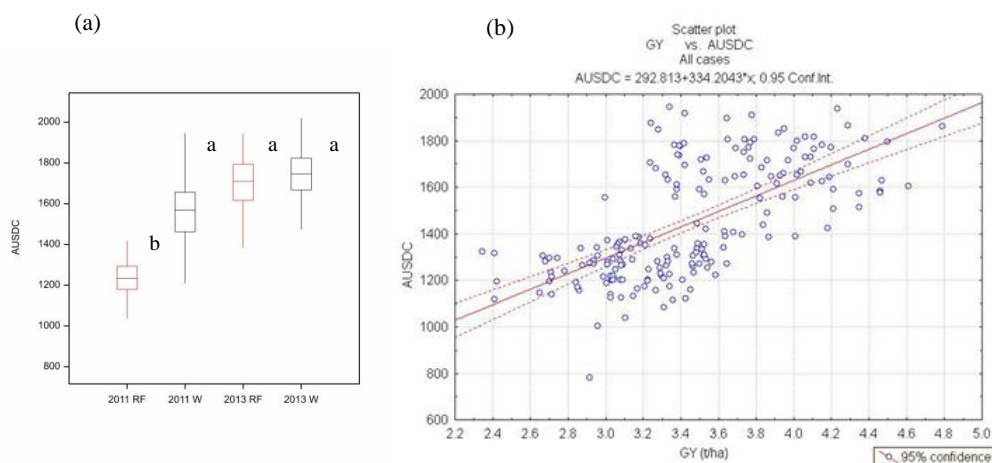


21. ábra. A SPAD-értékek változása a különböző fenológiai fázisokban, (a) 2011, (b) 2013 tenyészidőszakokban. (GWA panel, Martonvásár)

A genotípusosan hosszabb ideig zölden maradó (stay green) egyedek kiválasztására kalkulált AUSDC (Area Under SPAD Decline Curve) értékek meghatározásában a variancia komponensek közül a genotípus és kezelés játszotta a legnagyobb szerepet, a fenotípusos variancia 28,1% és 26,9%-át magyarázva. Ezt követte az évjárat, melynek szignifikáns szintű hatása 10,5% volt. Az AUSDC paraméter  $h^2$  értéke 0,72, mely nagyobb ismételtetésre utal az évjáratok között.

2013-ban a RF és W-kísérletek AUSDC eredményei nem különböztek szignifikánsan egymástól. A kísérleti átlageredmények 2011-ben voltak a legkisebbek, kezelés (öntözés) hatására a természetes csapadékelátottságú és öntözött kísérletek eredményei jól elkülönültek egymástól a hozam vonatkozásában (22. ábra).

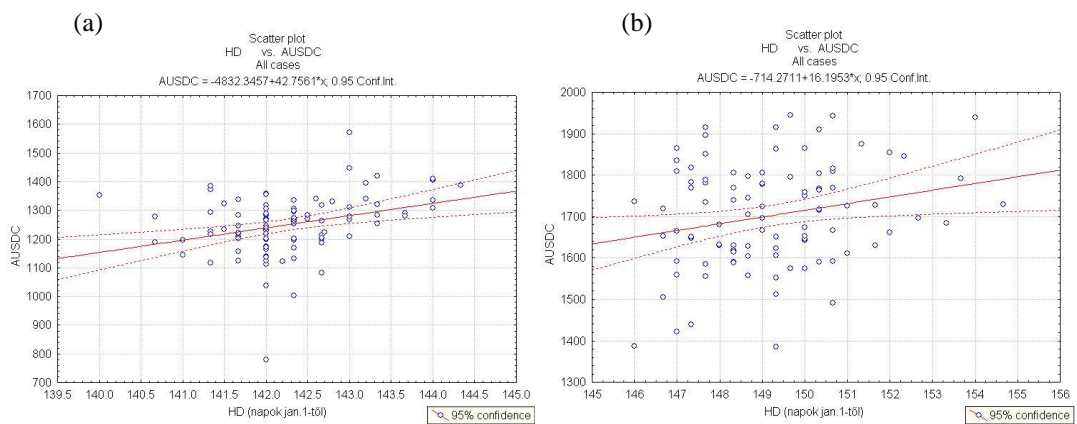
A természetes csapadékelátottságú kísérlet AUSDC értékei 2013-ban nem, viszont 2011-ben pozitív szignifikáns korrelációt mutattak a terméshozammal ( $r = 0,313^{***}$ ), (24. ábra). 3.5 t/ha termésátlagot meghaladó teljesítményű fajták átlagos AUSDC értéke 1342 volt, míg a 3,5 t/ha termés szint alatt 1228.



22. ábra. (a) Az AUSDC átlagértékei közötti különbségek a két vizsgálati év és a kezelés függvényében (RF-természetes csapadékelátottságú, W-öntözött ismétlések); (b) Az AUSDC értékek a terméshozam függvényében, természetes csapadékelátottság esetén (GWA panel, Martonvásár, 2011 és 2013)

Az AUSDC értékek mindkét vizsgált évben szignifikáns korrelációban álltak a kalászolási idővel ( $r = 0,322^{***}$ ;  $r = 0,232^{***}$ ). Ez az érték jelzi számunkra, hogy vannak olyan későbbi kalászolási idővel rendelkező fajták, melyeknek magasabb az AUSDC értékük, zászlóslevelük klorofilltartalmát hosszabb ideig meg tudják tartani. (23. ábra).





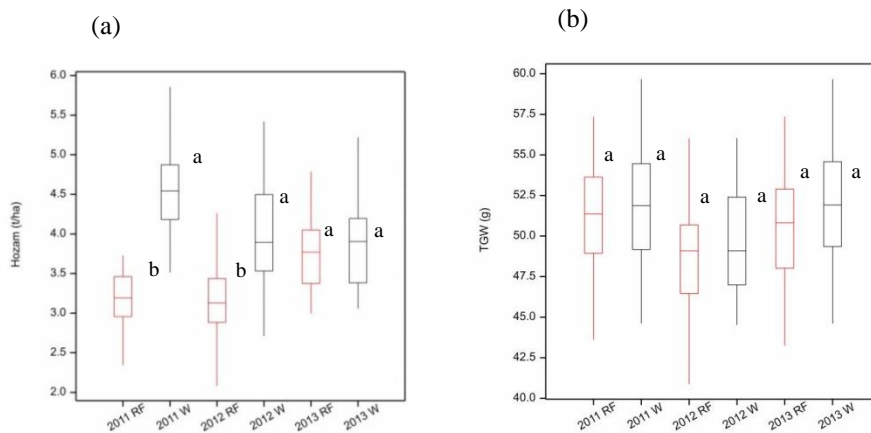
23. ábra. A fajták AUSDC értékei a kalászolási idő függvényében (a) 2011-ben és (b) 2013-ban, természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

#### 4.1.1.4. A termés és terméskomponensek változása

Kísérletünkben a három vizsgálati év alatt megfigyelt hőmérséklet és csapadék gradiens különböző termesztési feltételeket teremtett, mely jelentős hozamkülönbségekben realizálódott az évek és a fajták között. A hozam közepes ismételhetőségi értékszáma ( $h^2=0,534$ ) a nagyobb mértékű környezeti hatás eredménye, a kezelés a fenotípusos variancia 14,4%-át (8. melléklet), a kezelés  $\times$  év együttes hatása pedig 33,1 %-át magyarázta.

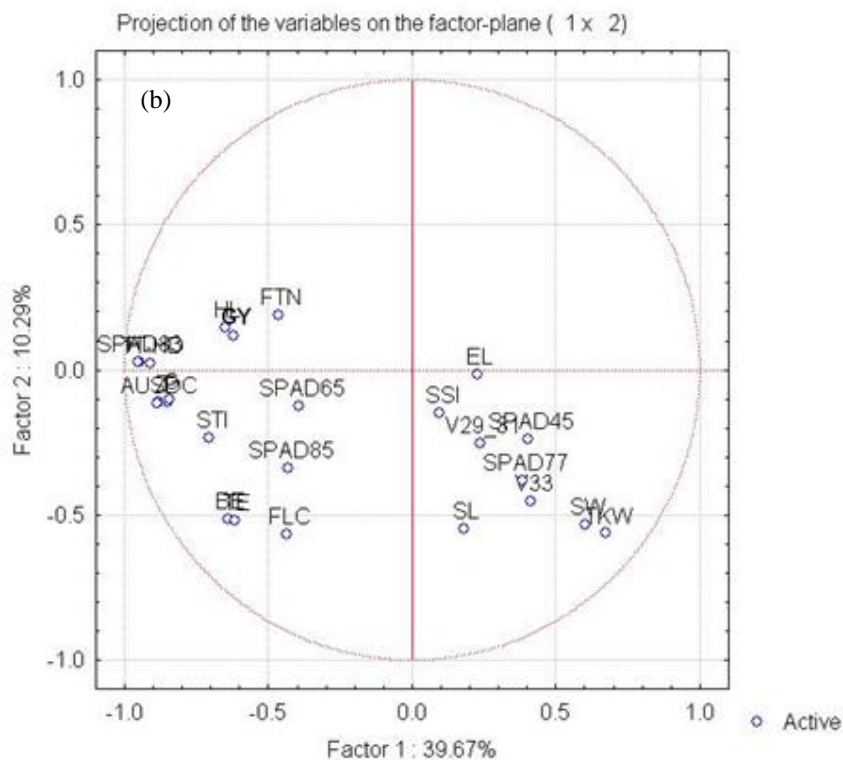
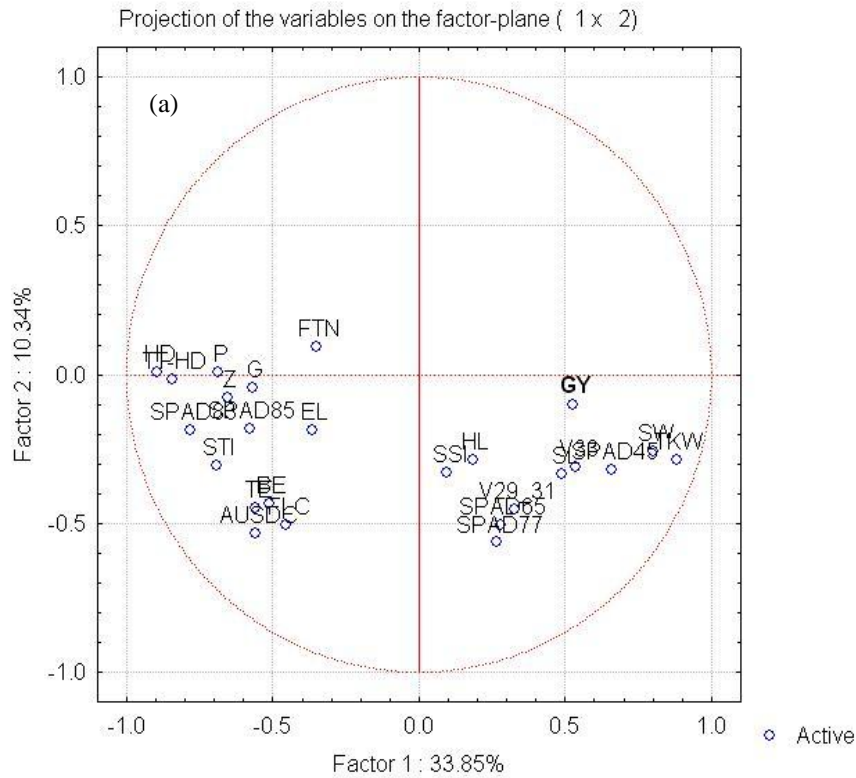
2013-ban a terméshozamban (t/ha) nem alakult ki különbség a kezelések között, az öntözött és természetes csapadékellátottságú területek szemtermés eredményeinek azonossága a márciusi és májusi bőséges csapadék eredménye (24a. ábra). Habár áprilisban a csapadék mennyisége a 30 éves átlag 50%-a volt, a keléshez és a kezdeti fejlődéshez szükséges vízmennyiséget az előző hónap bőséges esőzése (30 éves átlag 273%-a) biztosítani tudta. A száraz években az RF-kísérletek átlagos ezerszem-tömege (fő és mellékkalászok együttvéve) azonos volt az öntözött ismétlésekével. A genotípushatás minden évben szignifikáns volt, melyet a magas ismételhetőségi értékszám ( $h^2=0,85$ ) is igazol (24b. ábra). A kevesebb szemtermést a természetes csapadékellátottságú ismétlések növényei a TGW-vel próbálták ellensúlyozni, a 2012-es évben azonban a szemtelítődéskori magas hőmérsékleti értékek az öntözött területen is negatív hatással bírtak. A szemszélesség és szemhosszúság közül a szemszélesség erősen környezetfüggő volt, a genotípus hatása nem volt szignifikáns

( $h^2=0,076$ ). A szemhosszúság ezzel szemben erősebben állt a genotípus hatása alatt, amit a közepes szintű  $h^2$  érték is tükröz (0,419).



24. ábra. A (a) terméshozam (t/ha) és az (b) ezerszem-tömeg (gr) átlagértékei a három vizsgálati év és a kezelés függvényében. RF-természetes csapadékelátottságú, W-öntözött ismétlések (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

A tulajdonságok közötti összefüggések vizualizálására felállított tulajdonság biplot ábrák hasonló korrelációs mintázatot adtak a W és RF-kísérletekben (25. ábra). Az ezerszem-tömeg (TGW) egy csoportot alkotott a szemszélességgel (SW) és szemhosszúsággal (SL), valamint a korai fejlődési fázisokban mért zászlóslével klorofilltartalommal. Főkomponens analízis során a terméshozam (GY) pozíciójában alakult ki a legnyilvánvalóbb különbség a kezelések között, mely mutatja, hogy jó vízellátottság és aszály esetén a növények stratégiája különböző. Megfelelő talajnedvesség esetén a GY, TGW, V29-31, V33 egy csoportba került, velük ellentétesen helyezkedett el a fertilis oldalhajtásszám, a magassági paraméterek (FLC, BE, TE) és a későbbi fejlődési fázisokban (Z83, Z85) felvételezett klorofilltartalmak (ezt jelzi ezeknek a tulajdonságoknak a GY vektorral bezárt tompaszöge). Szárazságstressz hatására azonban a felvételezett paraméterek korrelációs mintázatában a terméshozam a fertilis oldalhajtás számmal mutatott pozitív összefüggést. Ez fontos jelzője annak, hogy elégtelen vízellátottság során a genotípusok azon képessége, mellyel több termékeny oldalhajtást tudnak létrehozni és megtartani, döntő jelentőségű és kompenzáló hatású lehet a terméshozam kialakításában. Pozitív asszociáció alakult ki a későbbi fenofázisokban mért klorofilltartalommal, ezen belül is a SPAD83 értékek mutattak szoros összefüggést a hozammal.



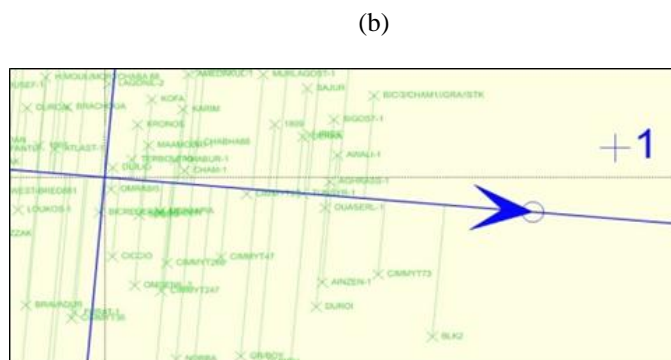
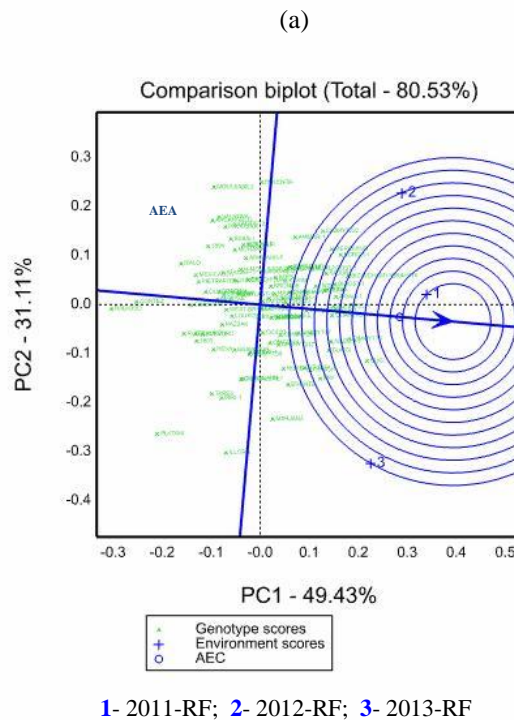
25. ábra. Az egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai tulajdonságok, valamint a hozam és terméskomponensek főkomponens-elemzése során kimutatott kapcsolatrendszer (a) öntözött és (b) természetes csapadékelátottságú kezelések átlagából képzett tulajdonságmátrix alapján (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

A tulajdonságok közötti összefüggések főkomponens analízise során hat faktor saját értéke (eigenvalue) volt nagyobb egynél a természetes csapadékellátottságú ismétlésekben, amelyek együttesen a teljes variancia 74,5%-át magyarázták (10. melléklet). Az első háttérváltozó (a teljes variancia 39,7%-a) legerősebben a kalászolási idővel (HD  $r=0,95$ ) és a zászlóslevél klorofilltartalommal (SPAD83  $r=0,95$ ), valamint a terméssel (GY  $r=0,62$ ), a hektoliter-tömeggel (HL  $r=0,65$ ), és két morfológiai tulajdonsággal (BE, TE;  $r=0,64, 0,62$ ) állt összefüggésben. A második faktor (a teljes variancia 10,29%-a) a terméskomponensekkel (SW, SL, TGW;  $r=0,54-0,57$ ) korrelált, míg a harmadik háttérváltozó a tejesérésig mért zászlóslevél klorofilltartalmakkal (SPAD45, SPAD65, SPAD77;  $r=0,42-0,62$ ) mutatott szoros összefüggést. A faktor-változó korrelációk mintázata alapján a terméshozammal (GY) egy csoportot alkottak a magassági paraméterek is. A főkalász hosszának nagy genetikai variabilitása ellenére a terméshozammal nem alakult ki pozitív összefüggés egyik kezelésben sem. Optimális vízellátottság esetén a magas hozamú genotípusok nagyobb ezerszem-tömeggel és ezzel együtt teltebb szemekkel rendelkeztek. A növények különböző fenofázisaiban fellépő szárazságstressz hatására azonban a magas hozammal rendelkező fajtákat hosszabb kalászolásig eltelt idő, korai viaszéréskori magasabb klorofilltartalom (SPAD83) és hosszabb szár jellemezte. Voltak olyan genotípusok, amelyek magasabb fertilis oldalhajtás számmal érték el a nagyobb hektáronkénti termésátlagot. Azok a genotípusok, amelyek öntözött körülmények között magas hozammal bírtak, öntözetlen kísérletekben nagyobb ezerszem-tömeggel rendelkeztek.

#### ***4.1.1.5. Szárazságtűrő genotípusok azonosítása***

Szárazságstresszhez alkalmazkodó genotípusokat a természetes csapadékellátottságú ismétlésekben kerestünk. Mindhárom évben azonos volt az egyes évek környezeti vektorainak hossza, ezért mindegyik öntözetlen kísérletet reprezentatívnak tekintettük (26a. ábra). A rangsor biplot módszerrel (Ranking biplot method) kapott ábrában a vízszintes vonal (abszcissza) a magasabb hozam felé mutat, míg a függőleges vonal (ordináta) jelzi a nagyobb variabilitást (kisebb stabilitás) bármely irányba nézve (26b. ábra). Mindhárom év öntözetlen kísérletét figyelembe véve a 'BLK-2' fajtának volt a legnagyobb terméshozama, melyet a 'CIMMYT73' és a 'BIC/3/CHAM//GRA//STK' törzs követett. Az 'Omrabi5' és 'Duilio' fajtának a

főátlaggal megegyező termés hozama volt, míg a 'Radio' rendelkezett a legkisebb termésátlaggal. Stabilitásban az 'Illora' fajta volt a leggyengébb, míg az 'Omrabi5', 'Duilio' 'CIMMYT23' fajták, valamint a 'Tunsyr-1' fajta (mely pontosan az abszcisszán helyezkedett el) rendelkeztek a legnagyobb stabilitással a három év átlagában.



26. ábra. (a) A kísérleti évek természetes csapadékelátottságú ismétléseinek megkülönböztető-képessége és reprezentativitása Comparison biplot analízis során; (b) a genotípusok átlagos hozamteljesítménye és stabilitása Ranking biplot módszerrel (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

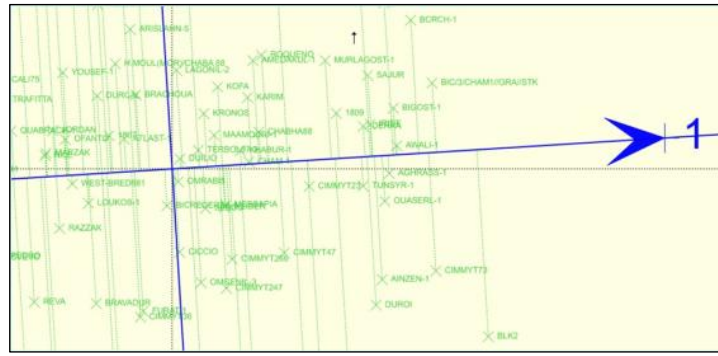
Az összehasonlító biplot (Comparison biplot) analízis során kapott környezeti tengely (Average Environment Axis - AEA) a legkisebb szöget a 2011-es év RF

kísérletével zárta be (26a. ábra) innen kerestünk olyan genotípusokat, amelyek magas hozammal és stabilitással rendelkeztek száraz körülmények között. Rangsor biplot módszerrel vizualizálva a legnagyobb hozamot a 'BLK-2' fajta érte el, melyet a 'CIMMYT73' és a 'BIC/3/CHAM//GRA//STK' törzs követett (27a. ábra). Ez nyilvánvaló volt, hiszen a kísérlet és az abszcissa kis szöget zárt be, tehát a rangsoruk szinte azonos volt. Azonban a legstabilabb genotípusok, amelyek magas hozammal is rendelkeztek a 'Cham-1' és 'Awali-1' fajták voltak.

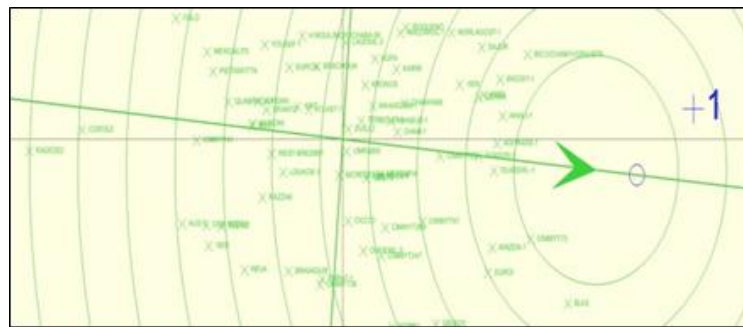
Az 'ideális' genotípus jellemzője, hogy a magas teljesítmény mellett nagy stabilitással is rendelkezik a különböző környezetekben. Az összehasonlító biplot elemzésnél az 'ideális' genotípus (koncentrikus körök közepe) pontosan a környezeti tengelyen helyezkedik el (teljesen 'stabil') és a legnagyobb hozammal rendelkezik (27b. ábra). Ezért azoknak a fajtáknak, törzseknek a kiválasztása előnyös, amelyek közel helyezkednek el az 'ideális' genotípushoz. Kísérletünkben a 'CIMMYT73', 'Aghrass-1' és 'Awali-1' fajták bizonyultak nemesítési szempontból a legkívánatosabbnak a természetes csapadékellátottságú ismétlésekben, annak ellenére, hogy a 'BLK-2' fajta rendelkezett a legnagyobb hozammal.

A jó vízellátottságú, öntözött kísérletekben is megkerestük azokat a nagy hozamteljesítményű genotípusokat, amelyek hektáronkénti termése a legnagyobb stabilitást mutatta mindhárom vizsgálati évben. Az összehasonlító biplot elemzésben a 'Cham-1' fajta és a 'CIMMYT-222' törzs illeszkedett a legközelebb az 'ideális' genotípushoz, azonban a RF ismétlésekben azonosított nagy termésátlaggal és évenkénti kis variabilitással rendelkező fajták és törzsek ('CIMMYT23', 'CIMMYT73', 'Aghrass-1', 'Awali-1', 'BLK-2', 'Ouaserl-1') szintén megtalálhatóak voltak az abszcissa pozitív oldalán, közel az 'ideális' genotípushoz (28. ábra).

(a)

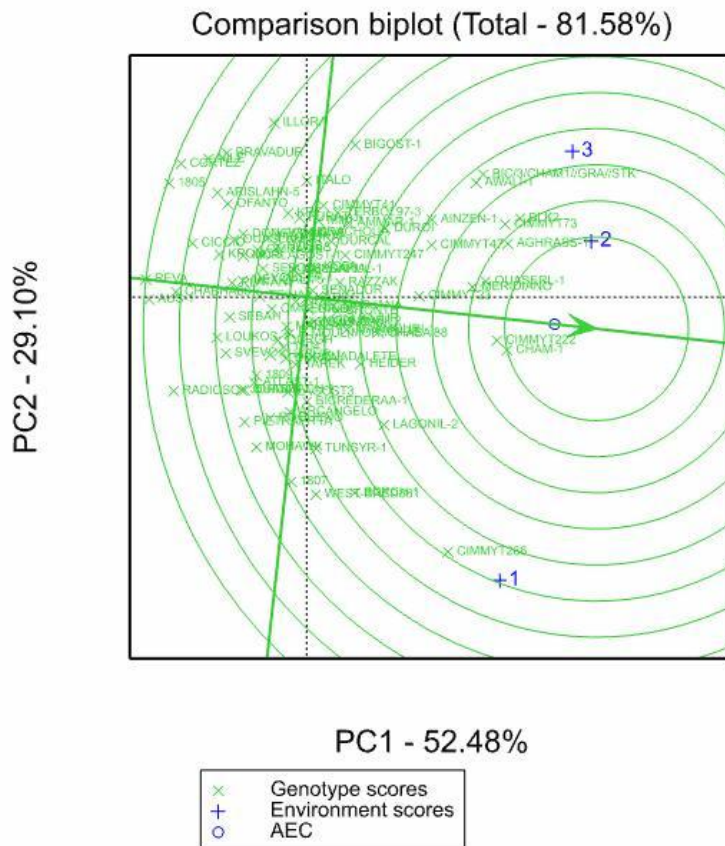


(b)



27. ábra. (a) A genotípusok sorrendje termés hozamuk alapján a 2011-es év természetes csapadékellátottságú ismétléseiben Ranking biplot módszerrel; (b) a kísérletben résztvevő genotípusok összehasonlítása az 'ideális' genotípussal a kísérleti évek természetes csapadékellátottságú ismétléseiben Comparison biplot analízis alapján (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)





1- 2011-W; 2- 2012-W; 3- 2013-W

28. ábra. A kísérletben résztvevő genotípusok összehasonlítása az 'ideális' genotípussal a kísérleti évek öntözött ismétléseiben Comparison biplot analízis alapján (GWA panel, Martonvásár, 2011-2013)

#### ***4.1.2. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúza Core panelben***

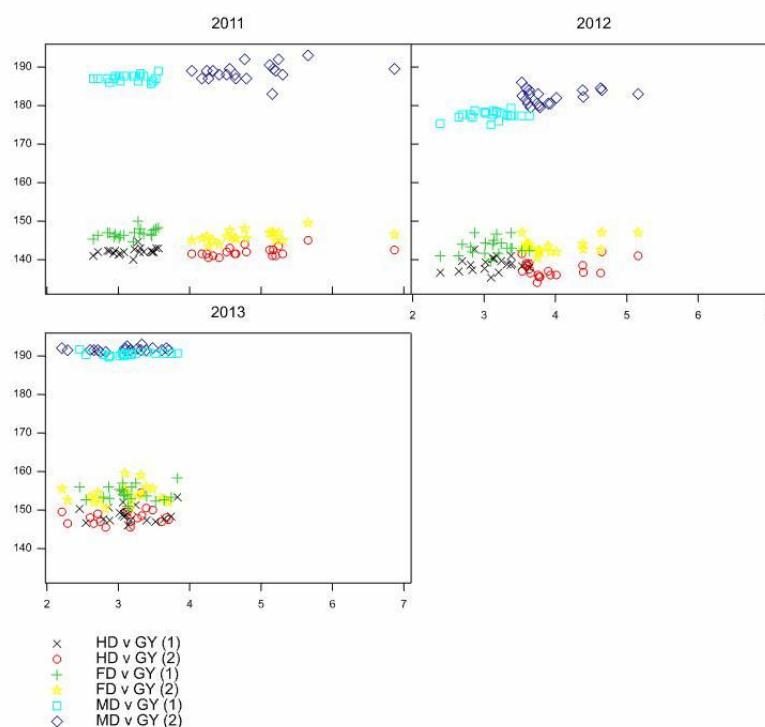
Szántóföldi kísérletünk során a GWA panelből kiválasztottunk 20 fajtát (Core panel), melyeken részletesen vizsgáltuk az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok változását három egymást követő évben szántóföldön, öntözött és természetes csapadékellátottságú kezelésekben. Arra kerestük a választ, hogy a szárazságstressz befolyásolja-e és ha igen, milyen mértékben, a kalászka alapi és csúcsi sterilitásának mértékét, a szemszám és szemtömeg változását? Kíváncsiak voltunk arra, hogy a zászlóslevelek klorofilltartalma (SPAD-érték) és a teljes parcella spektrális fényvisszaverő képessége (NDVI-érték) összefüggésben van-e a fajták



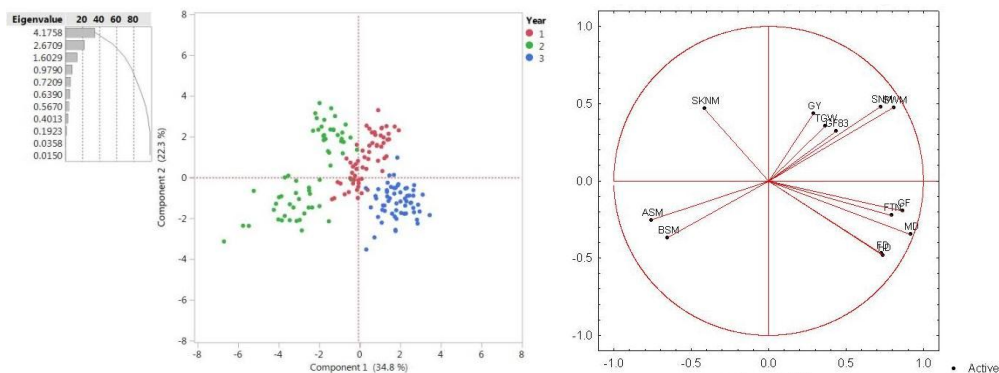
szárazságtűrő képességével? S ha igen, akkor a spektrális indexek alkalmasak-e a terméshozam becslésére aszályos körülmények között?

#### 4.1.2.1. Az évjárat és öntözés hatása a durumbúza Core panel egyedfejlődésére és termésbiológiai tulajdonságaira

Az egyedfejlődési paraméterekre az évjárat szignifikáns hatása érvényesült mindhárom kísérleti évben, ezt mutatja az is, hogy a kalászolási, virágzási- és érés idő átlagosan 9-10 nappal lett későbbi 2013-ban az előző két vizsgált évhez képest (11. melléklet). Ebben az évben a csapadékos tavasz hatására nem alakult ki különbség a két kezelés között a kalászolási és virágzási időben, ugyan az ötszöri öntözés (156,4 mm) szignifikánsan késleltette az érés idejét, a termésben azonban nem eredményezett különbséget. Összességében elmondható, hogy 2011-ben és 2012-ben a száraz április és májusi hónapok hatására a természetes csapadékelátottságú ismétlésekben a fajták az öntözött ismétlésekkel azonos kalászolási idő, későbbi virágzási és előbbi érésidő esetén kevesebbet teremtek (29. ábra). A terméscsökkenés mértéke 2011-ben 35%, 2012-ben 21% volt.



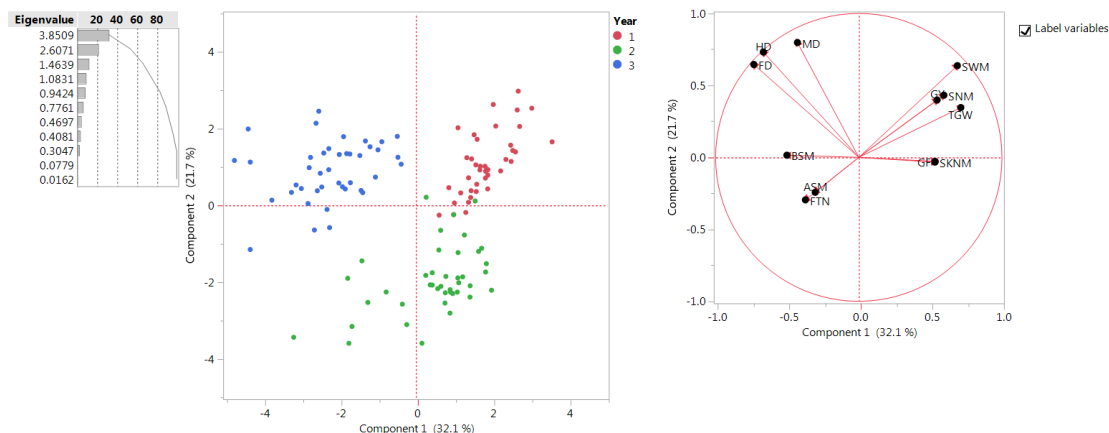
29. ábra. A Core-panel durumbúza fajtáinak kalászolási (HD), virágzási (FD) és érési (MD) ideje a termés (GY) függvényében, természetes csapadékelátottságú (1) és öntözött (2) kezelésben (Core panel, Martonvásár, 2011-2013)



30. ábra. Az egyedfejlődési, hozam és terméskomponensek főkomponens-elemzése során kimutatott kapcsolatrendszer természetes csapadékelátottságú kezelések átlagából képzett tulajdonságmátrix alapján (Core-panel, Martonvásár, ●1-2011, ●2-2012, ●3-2013)

A három kísérleti év természetes csapadékelátottságú ismétléseiben főkomponens analízissel vizsgálva az egyedfejlődési tulajdonságok és a hozam kapcsolatát, három faktor saját (eigenvalue) értéke lett nagyobb egynél, amelyek együttesen a teljes variancia 67,6%-át magyarázták (30. ábra, 14b. melléklet). Az első háttérváltozó (a teljes variancia 34,8%-a) legerősebben az érés idejével ( $r=0,92^{***}$ ), a szemtelítődés idejével ( $r=0,87^{***}$ ), a főkalász szemszámával ( $r=0,72^{**}$ ) és szemtömegével ( $r=0,80^{**}$ ), a fertilis oldalhajtásszámmal ( $r=0,79^{**}$ ), és két egyedfejlődési tulajdonsággal (HD, és FD;  $r=0,74^{**}$  és  $0,73^{**}$ ) állt összefüggésben. A második faktor (a teljes variancia 15,02%-a) a terméskomponensekkel (SNM, és SWM,  $r=0,48^*$  és  $0,47^*$ ) és a kalászkaszámmal ( $r=0,47^*$ ) korrelált. A faktor-változó korrelációk mintázata alapján a terméshozammal a legszorosabb kapcsolatot az ezerszem-tömeg, a Z83 fejlődési stádiumig számított szemtelítődési idő, valamint a főkalász szemszám és szemtömeg mutattak. Az oldalhajtásszámmal az egyedfejlődési paraméterek és a GF mutattak szoros kapcsolatot. Az egyes tulajdonságokat jellemző vektorok azonos hosszából következtethető, hogy szárazságstressz esetén a hosszabb szemtelítődési és későbbi érési idővel jellemezhető, valamint több fertilis oldalhajtást fejlesztő genotípusok rendelkeztek nagyobb szemszámmal és szemtömeggel. Optimális talajnedvesség esetén a terméshozammal a legszorosabb kapcsolatot szintén az ezerszem-tömeg, valamint a főkalász szemszám és szemtömeg mutatott, viszont az egyedfejlődési tulajdonságok (HD, FD, MD) nem voltak hatással a termés alakulására. Ugyancsak jó vízellátottság esetén a fertilis oldalhajtásszám kialakulásának sem volt korlátozó tényezője, a fajták maximális genetikai potenciálja érvényesülhetett. A FTN a szemtelítődés hosszára,

míg az alapi és csúcsi steril kalászkák aránya a főkalász kalászkaszámára volt negatív hatással (31. ábra).



31. ábra. Az egyedfejlődési, hozam és terméskomponensek főkomponens-elemzése során kimutatott kapcsolatrendszer az öntözött kezelések átlagából képzett tulajdonságmátrix alapján (Core-panel, Martonvásár, ●1-2011, ●2-2012, ●3-2013)

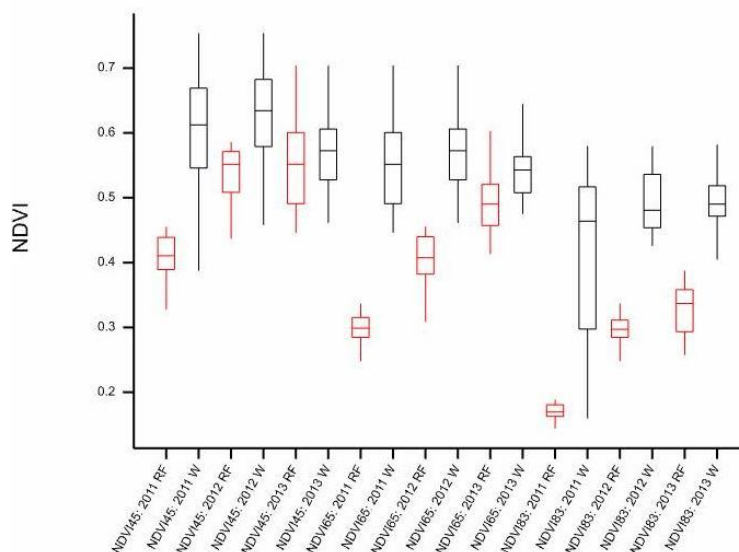
A főkalászok kalászkaszáma a két kezelés között (RF vs. W) alig különbözött, azonban fertilitásuk az alacsony talajnedvességi szint hatására csökkent. Az alapi és csúcsi steril kalászkák százalékos aránya a szemszámmal és szemtöeggel szemben, az 1-es főkomponens változó tengelyének negatív oldalán helyezkedtek el, mely jelzi, hogy a főkaláson belüli arányuk negatívan befolyásolta a terméskomponensek alakulását. Az alapi és csúcsi steril kalászkák százalékos arányának szignifikáns növekedése egyértelműen a szárazság hatására következett be, a kezelés hatása mindkét aszályos évben szignifikáns szintű volt (12. melléklet). Összehasonlítva a steril kalászkák elhelyezkedését, az alapi részen tapasztaltuk a nagyobb arányú üres kalászkák megjelenését. Az ASM és BSM paraméterek, valamint a főkalász szemszám és szemtömeg változók közötti kapcsolat erőssége mindkét évben szignifikáns volt (16. melléklet). A steril alapi kalászkák arányának növekedésével csökkent a szemszám és főkalász-szemtömeg mindkét aszályos évben. A szignifikáns évjáráthatás mellett egy évben (2011) tudunk szignifikáns genotípus hatást kimutatni, a fajták steril kalászkaszám aránya évenként változó volt. A főkalászok szemszámának alakulásában mind a genotípus, mind a kezelés szignifikáns hatása érvényesült, az optimális talajnedvességgű öntözött ismétlésekhez képest a főkalászok szemszáma átlagosan 22%-kal csökkent, a genotípusok között pedig nagy variabilitás mutatkozott. A legkevesebb szemszámot 2012-ben mértük a

RF-kísérletben (24,24 db/főkalász). A jó vízellátottságú 2013-as évben a szemtömegre a genotípus gyakorolt szignifikáns hatást, míg 2011 és 2012 öntözetlen ismétléseiben egyértelműen a kezelés (víz mennyisége) volt a meghatározó. Az aszály 20-40%-os főkalász szemtömeg veszteséget okozott, mely a szemek számának csökkenéséből fakadt (13. melléklet).

#### 4.1.2.2. Az évjárat és öntözés hatása a durumbúza Core-panel morfológiai és fiziológiai tulajdonságaira

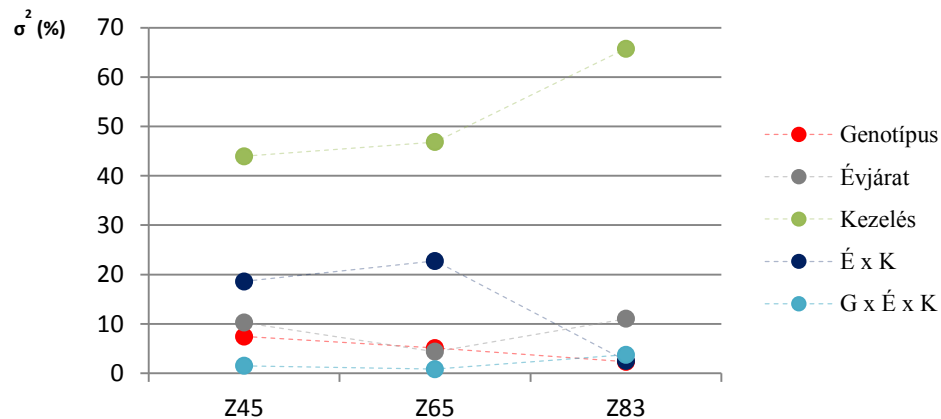
A fiziológiai tulajdonságok csoportjába a zászlóslevél klorofilltartalmának öt fenofázisban történő mérése és az egyes parcellák vegetatív állományának a fényelnyelő és fényvisszaverő képességéből kalkulált NDVI értéke tartozott.

A 20 fajta NDVI értékét három egyedfejlődési fázisban mértük (Z45, Z65, Z83) természetes csapadékellátottságú (RF) és öntözött (W) kezelésekben. A csapadékos tavaszú 2013-as évben a két kezelés parcelláinak NDVI adatai szignifikáns különbséget csak a Z83 fejlődési fázisban mutattak, míg 2011-ben és 2012-ben minden fejlődési stádiumban szignifikáns különbséget kaptunk a kezelések között (32. ábra). A csökkenés mértéke a Z45, Z65 és Z83 fejlődési fázisokban 2011-ben 32%, 46%, 59%, 2012-ben 13%, 29% és 39% volt, míg 2013-ban átlagosan 33%-kal kisebb volt a fajták NDVI értéke a Z83 fejlődési stádiumban az öntözött ismétlések mérési eredményeihez képest.



32. ábra. Az NDVI értékek közötti különbségek a három vizsgálati év és a kezelés függvényében. RF-természetes csapadékellátottságú, W-öntözött ismétlések (Core-panel, Martonvásár, 2011-2013)

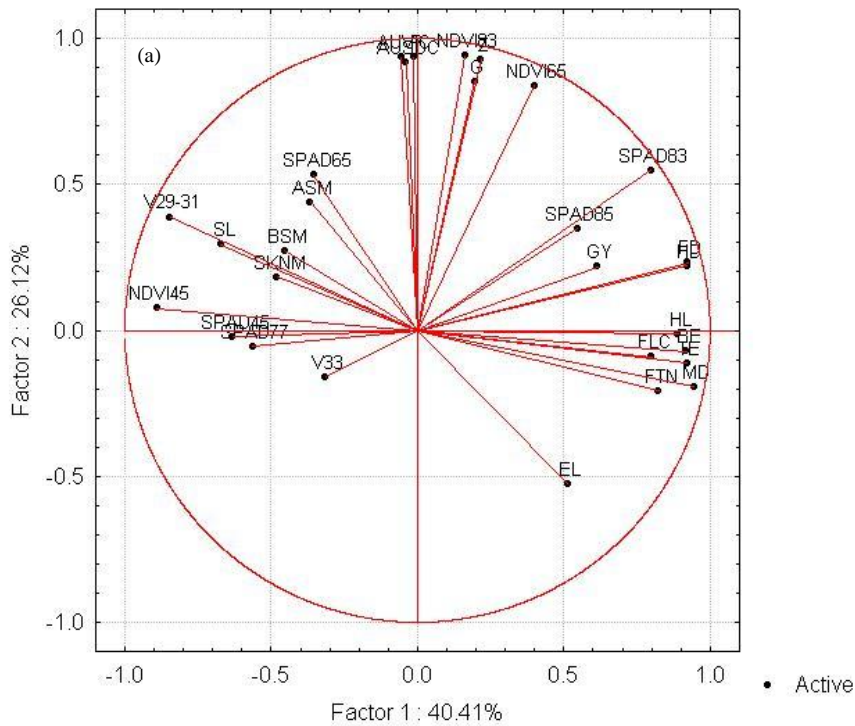
Az NDVI értékek fenotípusos variancia-értékeinek alakulásából jól látszik, hogy a kalászolás, virágzás és korai viaszérés fejlődési stádiumokban a fajtákra a kezelés hatása volt a legnagyobb (a fenotípusos variancia 43,9%, 46,8% és 65,7%-át magyarázva). Ezt követte az évjárat  $\times$  kezelés, majd az évjárat hatása. A genotípus viszont kisebb mértékben (7,4; 5,2 és 2,3%) vett részt a spektrális tulajdonság fenotípusos variancia-értékeinek kialakításában (33. ábra).



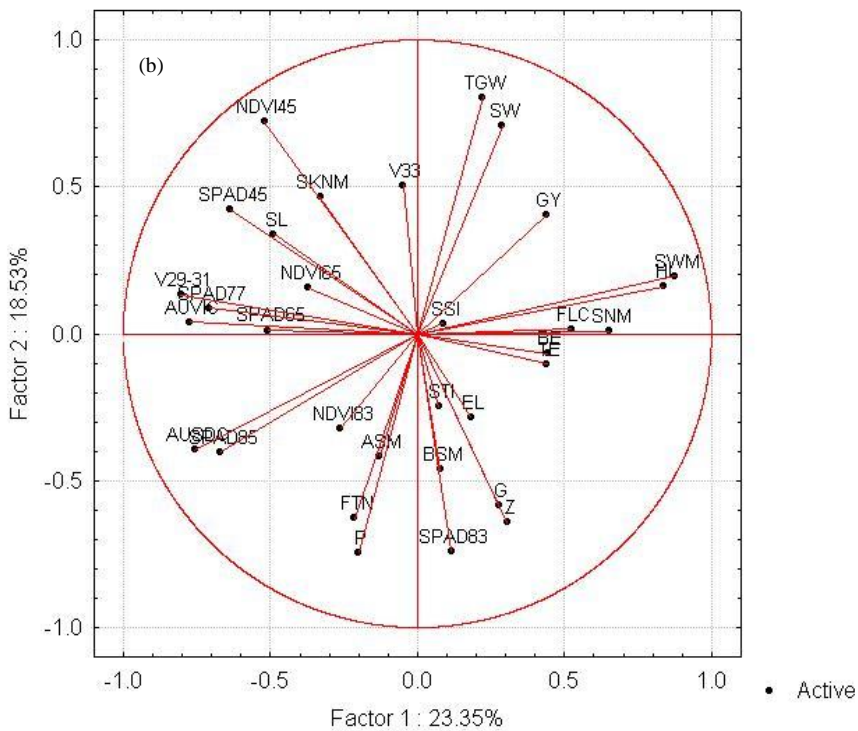
33. ábra. Az NDVI-értékek fenotípusos variancia-értékei a főkomponensek és kölcsönhatásaik vonatkozásában (Core-panel, Martonvásár, 2011-2013)

A természetes csapadékellátottságú ismétlésekben a tulajdonságok közötti összefüggések főkomponens analízise során négy faktor eigenvalue értéke volt nagyobb egynél, amelyek együttesen a teljes variancia 77,8%-át magyarázták (14a. melléklet). Az első háttérváltozó (a teljes variancia 40,4%-a) legerősebben az egyedfejlődési tulajdonságokkal (HD, FD, MD;  $r=0,92^{***}$ - $0,95^{***}$ ), magassági paraméterekkel (FLC, BE, TE;  $r=0,80^{**}$ - $0,92^{***}$ ), fertilis oldalhajtásszámmal ( $r=0,82^{**}$ ), a későbbi fenofázisokban mért zászlóslevél klorofilltartalommal (SPAD83, SPAD85;  $r=0,80^{**}$ ;  $0,50^*$ ) és a terméshozammal ( $r=0,62^{**}$ ) állt összefüggésben. A második faktor (a teljes variancia 26,12%-a) az AUSDC és AUVIC ( $r=0,92^{***}$ ;  $0,94^{***}$ ), valamint a Z65 és Z83 fejlődési stádiumban mért NDVI ( $r=0,84^{**}$ ;  $0,94^{***}$ ) értékekkel korrelált. A faktor-változó korrelációk mintázata alapján a terméshozammal a Z83 és Z85 fejlődési stádiumban mért zászlóslevél klorofilltartalom (SPAD83, SPAD85) mutatott szoros összefüggést. Ezek az értékek a virágzáskor (NDVI65) és a korai viaszéréskor (NDVI83) mért NDVI-értékekkel együtt voltak az AUSDC és AUVIC értékek fő meghatározói (34. ábra).

Projection of the variables on the factor-plane ( 1 x 2 )\_2011-2012-Dry



Projection of the variables on the factor-plane ( 1 x 2 )\_2011-2012-2013-W



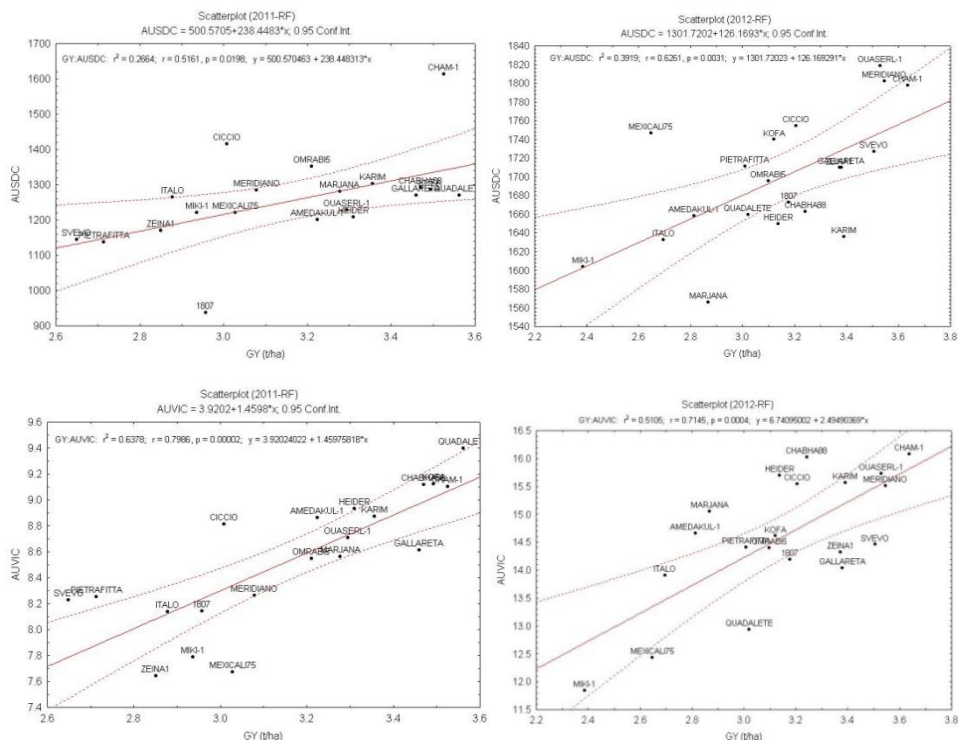
34. ábra. A morfológiai, fiziológiai, hozam és terméskomponensek főkomponens-elemzése során kimutatott kapcsolatrendszer (a) természetes csapadékelátottságú és (b) öntözött kezelések átlagából képzett tulajdonság mátrix alapján (Core-panel, Martonvásár, 2011-2012)

Az öntözött ismétlésekben több háttérváltozó határozta meg a tulajdonságok közötti kapcsolatot, összesen kilenc faktor sajátértéke volt nagyobb egynél (ezek együttesen a teljes variancia 82,7%-át magyarázták, (15. melléklet). A terméshozam szoros korrelációt mutatott a terméskomponensekkel (SNM, SWM, TGW, SW) és a magassági paraméterekkel (FLC, BE, TE), viszont a zászlóslevelek klorofilltartalmával (SPAD értékek) és a parcellák NDVI értékeivel nem álltak összefüggésben. A 'stay green' tulajdonságot jellemző AUSDC és AUVIC eredmények jó vízellátottság esetén szintén nem mutattak összefüggést a hozammal. A természetes csapadékellátottságú ismétlésekben a hozam szignifikáns pozitív korrelációt mutatott mindkét száraz tenyészidejű évben a Z65 ( $r=0,65^{**}$ ;  $0,63^{**}$ ) és Z83 ( $r=0,76^{**}$ ;  $0,67^{**}$ ) fejlődési stádiumokban mért NDVI értékekkel, az öntözött kísérletekben azonban csak 2012-ben volt pozitív kapcsolat az adatok között a Z65 fejlődési stádiumban ( $r=0,32^{*}$ ) (17. melléklet). A hozam szintén szignifikáns pozitív korrelációt mutatott a 'stay green' tulajdonságot meghatározó AUVIC ( $r=0,31^{*}$ ;  $0,37^{*}$ ) és AUSDC ( $r=0,60^{**}$ ;  $0,58^{**}$ ) értékekkel a két aszályos év RF ismétléseiben, az öntözött kísérletekben azonban csak 2011-ben volt pozitív az összefüggés ( $r=0,50^{**}$ ). Az NDVI értékekkel a magassági paraméterek (FLC, BE, TE) és a fertilis oldalhajtásszám évenként és kezelésként különböző mértékben álltak szignifikáns pozitív asszociációban. A Z83 és Z85 fejlődési stádiumokban mért klorofilltartalmak (SPAD értékek) a 2011 és 2012 öntözetlen ismétlésekben mutattak szignifikáns pozitív kapcsolatot a magassági paraméterekkel (BE, TE). Az AUSDC értékekkel a magassági paraméterek nem voltak összefüggésben sem a természetes csapadékellátottságú, sem pedig az öntözött ismétlésekben, a fertilis oldalhajtásszám pedig csak a 2013-as év öntözetlen és a 2012-es év öntözött kísérletében. Az AUVIC értékeknek viszont szignifikáns pozitív kapcsolatát mutattuk ki a morfológiai tulajdonságokkal (FLC, BE, TE, FTN) mindkét kezelésben.

A 2011-es és 2012-es száraz tenyészidejű évek öntözetlen ismétléseiben az NDVI értékek a terméshozammal szignifikáns lineáris kapcsolatot mutattak a Z45, Z65 és Z83, míg a SPAD értékek a Z83 és Z85 fejlődési fázisokban (16. melléklet). Mindkét évben a korai viaszéréskor (Z83) mért értékek determinációs koefficiense volt a legnagyobb. Az AUSDC értékekkel a Z83 fejlődési fázisban mért SPAD értékek, míg az AUVIC értékek esetében a Z83 fejlődési fázisban mért NDVI értékek mutatták a legszorosabb kapcsolatot, melyet a faktor-változó korreláció is igazolt korábban. 2011-ben a magas terméshozamú fajták ('Cham-1', 'Kofa', 'Quadalete') magas AUVIC értékkel rendelkeztek a Z83 fejlődési stádiumban, míg 2012-ben a



nagy termést adó 'Cham-1' és 'Ouaserl-1' fajta magas, a 'Meridiano' közepes értékkel bírt (35. ábra). Habár a 'Cham-1' fajtának mindkét évben magas hozama és NDVI83 értéke volt, az évjárat, valamint a genotípus x évjárat hatás következtében a többi fajta esetén a vegetációs aktivitás évenkénti változatosságát tapasztaltuk.



35. ábra. A fajták AUSDC és AUVIC értékei a hozam függvényében természetes csapadékellátottság esetén (Core-panel, Martonvásár, 2011-2012)

#### 4.1.3. Az eredmények megvitatása

A vizsgálatokra kiválasztott fajták nagy fenotípusos és genotípusos diverzitása lehetővé tette a kiválasztott populáció felhasználását a szárazságtűrés tanulmányozására. A megfigyelt szignifikáns genotípus, kezelés és genotípus x kezelés hatás várható volt, hiszen a genotípusok különböző pedigrével rendelkeztek, a vizsgált tulajdonságok pedig mennyiségi jellegűek voltak, amiből következik, hogy a fajták válaszai is eltérően alakultak a különböző környezetekben.

2011-ben és 2012-ben a magas hőmérsékletek és a kevés csapadék együttes hatásaként, szignifikánsan kisebb morfológiai, fiziológiai és hozamértékeket mértünk a természetes csapadékellátottságú területeken. A kevés csapadék mellett a 30 C°-nál magasabb napi maximum hőmérsékletek száma júniusban háromszorosára nőtt 2012-ben 2011-hez képest (9 vs. 3). Így az öntözéssel fenntartott optimális talajnedvesség ellenére, a hőstressz a jó vízellátottságú kísérletekben is hozzájárult a



szenescenciához. Mivel a vízhiány negatív hatását az évenként és termőhelyenként változó módon fellépő magasabb hőmérséklet jelentősen súlyosbíthatja (Miles *et al.* 2010), ezért a hozam tenyészidőszakok közti változása jobban megérthető, ha figyelembe vesszük a hőmérséklet, valamint a hőmérséklet  $\times$  talajnedvesség interakcióját is. A nappalhosszal korrigált effektív hőösszeg a csapadékszegény 2011-es és 2012-es évben volt a legnagyobb, mely hozzájárult az élettani változások felgyorsulásához. A 2013-as évben a kalászoláshoz hosszabb és hűvösebb periódus telt el, ez azonban nem eredményezett hozamnövekedést, hiszen a rövidebb vegetatív szakasszal rendelkező 2011-es év öntözött ismétléseivel megegyező termésmennyiséget mértünk. Ez arra utal, hogy a virágzás előtti időszakban felhalmozódott asszimiláták nem tudtak teljes mértékben hasznosulni a hőség jellemezte szentelítődési periódus során (Slafer és Rawson 1994; Wheeler *et al.* 1996). Lopes és Reynolds (2012) szerint a kalászolási idő genetikai variabilitásának kihasználása a hozam növelésében azokban a környezetekben lehetséges, ahol alacsonyabb hőmérséklet, valamint optimális talajnedvesség áll rendelkezésre az asszimiláták előállításához, raktározásához és mobilizálásához. Szárazságstressz során viszont a kalászolási idő genotípusonkénti, valamint a hozammal való korrelációjának változatosságából (Araus *et al.* 2003; del Moral *et al.* 2003) arra következtethetünk, hogy a kalászolási idő elsősorban a fajták adaptációs mechanizmusát mutatja és a hozammal való összefüggése csak viszonylagos, a környezettől függő (Maccaferri *et al.* 2008). A 2011-es év száraz tenyészidőszakában találtunk olyan fajtákat, amelyeknek későbbi kalászolási ideje magasabb hozammal párosult, a következő években azonban ezt nem tudtuk igazolni. Ennek fő oka a genotípus  $\times$  környezet interakciója, mely eltérő genotípusos választ eredményez a klímakomponensek (hőmérséklet, csapadék) és a talajszerkezet változatossága miatt (del Moral *et al.* 2003). A kalászolási idő plaszticitását igazolja (Grogan *et al.* 2016) az a tény is, hogy esetünkben az évjárat a fenotípusos variancia 41,4%-át magyarázta. Azokban a környezetekben, ahol a szentelítődési ideje a szárazság okozta korai szenescencia miatt rövidülhet, a korai kalászolás és az élelciklus befejezése a terminális hő- és szárazságstressz előtt hozam-pozitív alkalmazkodási mechanizmusnak tekinthető (Munns *et al.* 2010; Miroslavljević *et al.* 2015). Azonban azok a genotípusok, amelyek későbbi kalászolási, virágzási és érési idővel rendelkeznek, magasabb biomassza akkumulációra és tartaléktápanyag képzésre képesek optimális körülmények között. Számukra lehetővé válik, hogy hatékonyan kihasználják a kritikus fejlődési fázisokban lehullott csapadék mennyiségét. A

későbbi érésű és magasabb genotípusoknak több idejük és kapacitásuk van az asszimiláták felhalmozására, mely magasabb hozamban realizálódik (Mwadzingeni *et al.* 2016), ezt igazolta a kísérleteinkben kimutatott, a magassági és az egyedfejlődési paraméterek hozammal való szoros korrelációja. Ha a növények tenyészideje túl rövid és a magasságuk túl kicsi, akkor a termés mennyisége csökkenhet, ahogy azt Butler *et al.* (2005) tapasztalták tavaszi búza kísérletükben. Az alacsony búza genotípusok (melyek tartalmazták az *Rht-B1* és *Rht-D1* törpeséggén két allélját), kevesebb hozammal rendelkeztek azoknál a fajtáknál, amelyek egy vagy egyetlen egy mutáns génallélt sem hordoztak. Kísérletünkben a növények különböző fenofázisaiban fellépő szárazságstressz hatására a magas hozammal rendelkező fajtákat későbbi kalászolási idő, korai viaszérés kori magasabb klorofilltartalom (SPAD83) és hosszabb szár jellemezte. Érdekes módon a magas 'Cham-1', 'Quadalete', 'Karim' fajták nagyobb hozamot tartottak fent optimális és stresszkörülmények között is, mely elérését számos közvetett tulajdonság is segíthette (mélyebb, kiterjedt gyökérrendszer, hosszabb ideig fotoszintetikusán aktív zöld növényi felület). Azonosítottunk olyan nagy termésű, magas genotípusokat is ('Marjana', 'Miki-1', 'Svevo', '1807' törzs), amelyek szárazságstressz hatására a megnövekedett evapo-transzspiráció következtében jelentős hozamcsökkenéssel reagáltak mindkét aszályos évben, jól alátámasztva a stresszválasz összetett és eltérő szabályozási mechanizmusait.

Optimális vízellátottság esetén a magas hozamú genotípusok nagyobb ezerszem-tömeeggel és ezzel együtt teltebb szemekkel rendelkeztek. A hozam kialakulását legnagyobb mértékben a különböző terméskomponensek befolyásolták, azaz bármelyik paraméterre történő szelekció hozzájárulhat a termés növekedéséhez. Főkomponens analízis során, a terméshozam szignifikáns pozitív korrelációja a szemtelítődés idejével, a főkalász szemszámával, szemtömegevel és az ezerszem-tömeeggel igazolta, hogy ezek a tulajdonságok hozzájárultak a hozam kialakulásához szárazságstressz során is (Dodig *et al.* 2012; Sareen *et al.* 2014), ezért figyelembevételük a szelekciónál alapvető fontosságú. Több tanulmányban is a növénymagasság, kaláshossz, kalásonkénti szemszám és szemtömeg, ezerszem-tömeg és a harvest index határozta meg közvetlenül a hozamot (Majumder *et al.* 2008; Guendouz *et al.* 2013) elégtelen és optimális vízellátottság során egyaránt. Ezek az eredmények tovább erősítik azt a tényt, mely szerint a hozam alapú szelekcióval, szimultán módon, termést és abiotikus stressz adaptációt növelő gének is kiválasztásra kerülhetnek párhuzamosan. Ezzel szemben, ha csak néhány, a

szárazságtűrés fiziológiai folyamatait befolyásoló jelentősebb tolerancia génre koncentrálnak, növelhetjük ugyan a szárazságtűrést, de ronthatjuk a hozamteljesítményt (Passioura, 2012).

A jó vízellátottságú, öntözött kísérletek összehasonlító biplot elemzése során a 'Cham-1' fajta és a 'CIMMYT-222' törzs illeszkedett a legközelebb az 'ideális' genotípushoz. Ugyanakkor a természetes csapadékelátottságú ismétlésekben azonosított nagy termésátlaggal és évenkénti kis variabilitással rendelkező fajták és törzsek ('CIMMYT23', 'CIMMYT73', 'Aghrass-1', 'Awali-1', 'BLK-2', 'Ouaserl-1') szintén megtalálhatóak voltak az abszcissza pozitív oldalán. Mwadzingeni *et al.* (2016) kísérletük során szintén azt tapasztalták, hogy a stressz és optimális körülmények között magas hozamra szelektált genotípusok megtartották hozamrangsorukat, vagyis jól teljesítettek aszály és megfelelő vízellátottság esetén is.

Szárazságstressz hatására a felvételezett paraméterek faktor-változó korreláció mintázata alapján a terméshozam a fertilis oldalhajtásszámmal is összefüggést mutatott, valamint pozitív asszociáció alakult ki a későbbi fenofázisokban (Z83 és Z85) mért klorofilltartalommal. 2011-ben a magas produktív oldalhajtásszám, magas szemszámmal párosult, s így kompenzálta a szentömegcsökkenésből eredő veszteséget (Slafer *et al.* 2014). Azok a genotípusok, amelyek szárazságstressz során megőrzik részben vagy egészben fertilis oldalhajtásszámukat, valószínűleg kedvező gyökértulajdonságokkal (gyökerek tömege, vastagsága és hossza, gyökér/hajtás arány, az elágazások vagy a gyökércsúcsok száma) rendelkeznek (Dudits 2014). Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni azt a tényt sem, hogy az oldalhajtás versenyez az erőforrásokért a főhajtással (Guo és Schnurbusch 2015). 2012-ben az előző évi és téli csapadékhiány miatt a kezdeti fejlődéskor kialakult súlyos szárazságstressz hatására nem, vagy alig volt a növényeknek oldalhajtása. Így a morfológiai és genetikai tulajdonságok közvetlenül a főhajtás termésmennyiségét határozták meg. A változók közötti szignifikáns szintű kapcsolat igazolta azt is, hogy a főkalászok szemszámát és szentömegét az alapi és csúcsi steril kalászkák aránya szignifikánsan befolyásolta. Az aszályos években a fajták steril kalászkaszám aránya növekedett, a kalászok bazális részén nagyobb mértékben. Ennek élettani oka, hogy a virágok fejlődése a kalászokban nem szinkronizált, a virágzás a kalász középső részén elhelyezkedő kalászkákban kezdődik meg, és innen halad a kalász két vége felé. Így stressz körülmények között a disztális kalászkák későbbi fejlődésük következtében hátrányosabb helyzetbe kerülhetnek, amely az alacsonyabb fertilitásban nyilvánul meg (Guo *et al.* 2015). A környezeti faktorok, hőmérséklet,

fény és a talaj agronómiai tulajdonságai jelentős befolyást gyakorolnak a kaláson belüli megtermékenyülési viszonyokra (Ferrante *et al.* 2010; Dreccer *et al.* 2014), melyek a fajták steril kalászkaszám arányának évenkénti variabilitását is okozták. A fiatal kalászok megtermékenyülése és ezen keresztül a kalásonkénti szemszám kialakulása egészen a virágkötésig tartó periódusig köthető (Ferrante *et al.* 2013). Ezt támasztja alá a steril kalászkaszámra gyakorolt szignifikáns szintű évjárat és kezeléshatás eredménye az öntözetlen kísérleteinkben.

A 'stay green' tulajdonság, vagyis a hosszabb perióduson át megtartott fotoszintetikusán aktív zöld felület, a növények genetikailag meghatározott képessége, amely segít megőrizni a növények integritását a fotoszintézis folytatásához, valamint biztosítja az asszimiláták áthelyeződését a 'sink' szervek felé (Christopher *et al.* 2008). Nemcsak a levél szenescenciájának késleltetését jelenti, hanem a szár és a kalász klorofilltartalmának lassú elvesztését is. Tulajdonképpen már a vegetatív fejlődés alatt elinduló fiziológiai folyamatok következménye, melyek összességüként a 'stay green' fenotípus a virágzás után válik egyre nagyobb mértékben láthatóvá (Borrell *et al.* 2014). Vannak olyan fajták, amelyek hosszabb ideig 'zölden maradnak' a szemtelítődés során, magasabb hozamra képesek, függetlenül attól, hogy milyen korán léptek reproductív fázisba (Lopes és Reynolds 2012; Pask és Pietragalla 2012). A későbbi fenofázisokban (Z83, Z85) mért SPAD, NDVI értékek és a terméshozam szignifikáns pozitív korrelációja mutatja, hogy aszályos körülmények között ezekben a fejlődési stádiumokban alakul ki a genotípusok között a legnagyobb variabilitás. A SPAD83, SPAD85 értékek a virágzáskor és a korai viaszéréskor mért NDVI értékekkel együtt voltak a 'stay green' tulajdonságot jellemző AUSDC és AUVIC paraméterek fő meghatározói. A fiatal növények nagyobb mennyiségű fotoszintetikusán aktív sugárzást abszorválnak, és több infravörös fényt tükröznek vissza. A fejlődés előrehaladtával új levelek képződnek (amíg az összes oldalhajtás el nem éri a zászlóslevél megjelenésének fázisát), ezzel egy időben az idősebb zöld szövetek a klorotikus majd nekrotikus állapot eléréséig fokozatosan elvesztik klorofilltartalmukat. A normalizált vegetációs index, mely az infravörös és a vörös fényintenzitások arányosításával képeznek, magas értéket ad a korai fejlődési stádiumokban, azonban a tenyészidő előrehaladtával csökken a fotoszintetikusán aktív zöld növényi részek elvesztésének következtében. A SPAD és a visszavert fényintenzitásból kalkulált spektrális indexek legnagyobb értékeit a Z45 fenológiai fázisban mértük, melyek nem változtak a kalászolás idején, majd pedig éles csökkenés következett be a szemtelítődés során

(Babar *et al.* 2006; Lopresti *et al.* 2015). A Z83 fejlődési stádiumban magas normalizált vegetációs indexszel, s így hosszabb vegetációs periódussal rendelkező genotípusok ('Ouaserl-1', 'Quadalete-1', 'Kofa', 'Meridiano') évenkénti vegetációs aktivitásának stabilitása változó volt, mely a varianciaanalízisekben kimutatott alacsony genotípus és magas évjáráthatásban is megmutatkozott. Ennek ellenére ezek a genotípusok alapvetően magasabb értékekkel voltak jellemezhetők a legtöbb környezetben.

Sikerült olyan fajtát is azonosítanunk ('Cham-1'), amely szárazságstressz alatt is fenn tudja tartani vegetációs aktivitásának stabilitását évről évre, s így nagyobb teljesítményre képes. Ennek hátterében különböző morfo-fiziológiai tulajdonságok állnak (a mélyebb talajrétegben meglévő nedvességet is elérő gyökerek, hatékony fotoszintetizáló és transzspirációs rendszer), melyek a 'stay green' karakter alapját képezik, s 'piramidálásukkal' lehetővé válik a genotípusok agronómiai teljesítményének további növelése (Dencic *et al.* 2000; Gizaw *et al.* 2016).

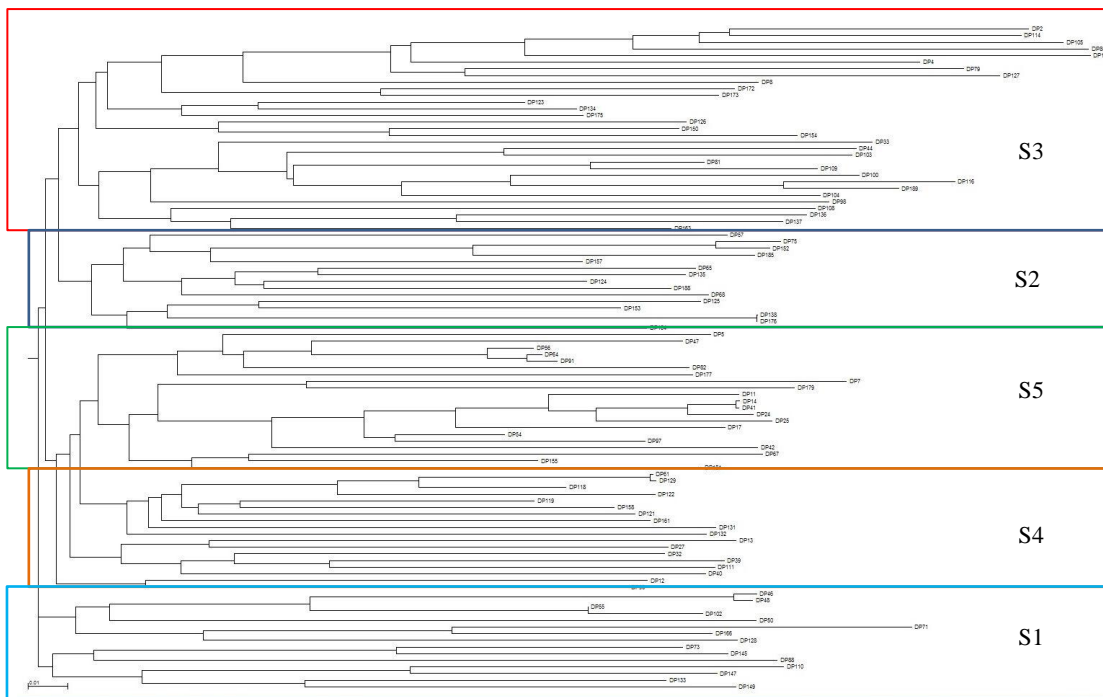
#### **4.2. Asszociációs elemzés**

Az agronómiai tulajdonságok nagyfelbontású genetikai térképezésének ideális módszerévé vált a széles fajtakörön végzett genom szintű asszociációs vizsgálat (GWAS). Dolgozatomban a 188 fajtát jellemző SNP térkép felhasználásával elvégeztük az asszociációs panel populáció struktúrájának vizsgálatát, valamint a hozamhoz, kalászolási időhöz, morfológiai és fiziológiai tulajdonságokhoz kapcsolható QTL (quantitative trait loci) régiók azonosítását különböző vízellátottság esetén. Az elemzések során arra szeretnénk volna választ kapni, hogy van-e a klorofilltartalmat jellemző SPAD, valamint a kalászolási időt, morfológiai tulajdonságokat és hozamkomponenseket jellemző fenotípusos értékeknek közös QTL régiója? Ennek érdekében, 10 agronómiai és 5 klorofilltartalmat jellemző tulajdonság fenotípusos vizsgálatát végeztük el természetes csapadékellátottságú és öntözött kísérletekben. A kalászolási idő és a hozam elemzésénél 188 fajta (2 évjárat  $\times$  2 vízellátottság  $\times$  2 tulajdonság), a többi vizsgált tulajdonságnál 100 fajta (2 évjárat  $\times$  2 vízellátottság  $\times$  13 tulajdonság) teljes adatbázisa állt rendelkezésünkre.

##### **4.2.1. Durumbúza asszociációs panel populáció struktúrája**

A GWA panel populáció struktúráját a Tassel 5 program Kinship-mátrixra alapozott dendrogramjával szerkesztettük meg (36. ábra). A rokonsági kapcsolat elemzéséhez a rendelkezésünkre álló összes SNP markert felhasználtuk. Az elemzés során öt

alcsoport különült el, melyek mindegyike tartalmazott legalább három fajtát a 20 genotípusra szűkített Core panelből. Az első alcsoportba (S1) száraz területeken nemesített fajták sorolódtak be ('1807', 'Heider', 'Omrabi5'), melyek főleg Szíriából és Marokkóból származtak. Az S2 alcsoport fajtái főleg Szíria csapadékosabb területeiről származó genotípusok voltak ('Quadalete', 'Chabha88', 'Zeina1'), míg a harmadik (S3) alcsoport tagjait Olaszországban ('Ciccio', 'Italo', 'Pietrafitta') és az USA-ban ('Kofa') nemesített fajták adták. Az S4 és S5 csoportba a '70-es és '80-as évek, valamint a késői '80-as és korai '90-es évek CIMMYT fajtái tartoztak. Az öt csoporton belül a diverzitás mértéke viszonylag hasonlóan alakult, a 3. és az 5. csoportok még további alcsoportokra bonthatóak. A populáció struktúra elsősorban a földrajzi származástól függően alakult ki, mely előrevetíti a tulajdonság-kombinációk megnyilvánulásának változatosságát.



36. ábra. A vizsgálatba vont durum búza genotípusok populáció struktúrája

#### 4.2.2. QTL-elemzés a GWA panelben

Az általunk vizsgált 188 durum búza genotípus asszociációs elemzésére a 90K SNP Infinium vizsgálatból származó 25 146 SNP marker állt rendelkezésünkre. Átlagosan az összes marker 6,94%-a hiányos markernek volt tekinthető, de ebbe a csoportba soroltuk azokat a markereket is, amelyeket a genotípusok kevesebb, mint 10%-a tartalmazta. 42,73%-a monomorf volt, 1,14%-a van-nincs variációt mutatott, így

ezek az SNP-k kizárásra kerültek a további elemzésből. Amelyeknél a MAF érték (Minor Allele Frequences) kisebb volt 5%-nál, szintén törlésre kerültek, valamint az azonos kapcsoltsági távolságra térképezett SNP-k esetében a teljes hasonlóságot mutató markerek közül minden esetben csak egyet hagytunk meg, a többit eltávolítottuk az asszociációs vizsgálatához használt LD térképből. Így összesen 5879 SNP-t használtunk fel az asszociációs elemzéshez (4. táblázat). Az LD térkép jó marker lefedettségűnek bizonyult, a markerek 41,14%-a az A genomon, 58,85%-a a B genomon lokalizálódott. A hét homeológ kromoszóma csoport markeres lefedettsége egymáshoz közel hasonlóan alakult, az átlagos markerszám 840 volt. A legnagyobb szintű marker lefedettséget a 2-es és 7-es kromoszómák esetében tapasztaltunk, amelyeknél a markerszám meghaladta a 900-at.

4. táblázat. Az LD térkép elkészítéséhez felhasznált SNP markerek száma és kromoszómális elhelyezkedése

Kromoszóma	Összes SNP markerszám	Hiányos markerek % <sup>1</sup>	Teljes kapcsoltságot mutató markerek % <sup>2</sup>	PAV % <sup>3</sup>	MAF<5% <sup>4</sup>	Felhasznált SNP markerszám
1A	1625	7.63	35.88	0.74	36.80	308
1B	2373	6.70	40.46	1.64	24.82	626
2A	1774	7.61	47.69	0.96	23.84	353
2B	2794	5.98	43.16	1.32	28.45	589
3A	1403	5.20	56.45	0.71	16.89	291
3B	2006	5.83	35.54	1.84	36.84	400
4A	1274	9.18	37.05	1.41	29.59	290
4B	1207	3.65	46.23	0.41	18.31	379
5A	1404	3.77	47.65	0.14	26.85	303
5B	2062	4.90	47.62	1.12	25.32	434
6A	1571	11.39	38.96	1.08	25.84	357
6B	1972	7.51	42.75	1.47	22.36	511
7A	1692	9.99	34.10	1.36	24.00	517
7B	1989	7.99	46.86	0.85	18.10	521
<b>Összesen</b>	<b>25146</b>	<b>6.94</b>	<b>42.73</b>	<b>1.14</b>	<b>25.81</b>	<b>5879</b>

<sup>1</sup> Hiányos markerek vagy amelyeket a genotípusok kevesebb, mint 10%-a tartalmaz

<sup>2</sup> Azonos genetikai távolságban (cM) lévő teljes kapcsoltságot mutató markerek

<sup>3</sup> Van-nincs variációt mutató markerek (Presence Absence Variant)

<sup>4</sup> Azok a markerek, ahol a legkisebb allélgyakoriság 5% alatt van (MAF-Minor Allele Frequency)

Az asszociációs elemzés során a  $-\log_{10}p \geq 2$  szignifikancia küszöböt ( $p=0,01$ ) alapul véve összesen 642 szignifikáns marker-csoport-tulajdonság asszociációt mutattunk ki, tulajdonságonként átlagosan 42-öt. Ezek a csoportok magukba foglalták azokat a szignifikáns SNP markereket, amelyek egymástól maximum 20 cM távolságon belül helyezkedtek el a kromoszómán. 470 marker-csoport (73,32%) csak egyedi környezetben jelent meg, azaz a vizsgált évek valamelyik kezelésében (5. táblázat). Három vagy több környezetben 27 marker-csoportot (4,21%) azonosítottunk. Ezek a csoportok többségükben a magasság különböző paramétereikhez (EL, BE, TE), egyes

terméskomponensekhez (TGW, SL, SW) és a mért klorofilltartalomhoz (SPAD45, SPAD77) voltak köthetőek. A két évjárat vizsgálata során (188 fajta) a kalászolási idő (HD) és a terméshozam (GY) esetén nem találtunk olyan marker-csoportot, ami mind a négy kezelés során megjelent volna.

Az elemzés során a szignifikancia küszöb növelésével a marker-csoportok gyakorisága (a  $-\log_{10}p \geq 2$  szintet 100%-nak véve)  $-\log_{10}p \geq 2,5$  esetén 61%-kal,  $-\log_{10}p \geq 3$  esetén pedig 87,2%-kal csökkent. Az adott évjáratra jellemző [a kezeléstől (vízellátottságtól) független] marker-csoportok száma 80-ról LOD2,5 esetén 22-re, LOD3 esetén 6-ra csökkent. A kezeléssel [adott vízellátottságra (RF, W) jellemző az évjáratától függetlenül] összefüggésben álló marker-csoportot LOD2,5 szignifikancia szint esetén kettőt tudtunk kimutatni, melyek a terméshozamhoz és a kalászolási időhöz kapcsolódtak. LOD3 esetén nem találtunk tulajdonsággal összefüggésben álló marker-csoportot, amely kezelés specifikus volt. A 37. ábrán azokat a marker-csoport régiókat ábrázoltuk, amelyeken LOD2 és LOD2,5 szignifikancia szinten marker-csoport-tulajdonság asszociációt mutattunk ki, kezeléstől függően. Azok a tulajdonságok is ábrázolásra kerültek, melyek szintén ezekhez a régiókhoz kapcsolódtak, de nem csak az adott vízellátottságtól függően.

5. táblázat. A vizsgált tulajdonságokhoz kapcsolt marker-csoport régiók csoportosítása (a) két évjárat és két kezelés (RF, W), valamint (b) három évjárat és két kezelés adatai alapján

Tulajdonság	Összes marker-csoport régió			Egyedi környezetben kimutatott marker-csoport régió			$\geq 3$ környezetben kimutatott marker-csoport régió			Évjárat függő marker-csoport régió			Évjáratok között ellentétes kezeléseken kimutatott marker-csoport régió			Kezelés függő marker-csoport régió		
	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3
EL	35	15	5	26	15	5	1	0	0	3	0	0	3	0	0	2	0	0
FLC	47	20	7	32	16	6	0	0	0	11	3	1	4	1	0	0	0	0
BE	46	18	2	34	16	1	2	1	0	5	1	1	3	0	0	2	0	0
TE	48	13	3	35	11	2	2	1	0	5	1	1	4	0	0	2	0	0
FTN	32	7	4	26	7	4	1	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0
SL	35	15	7	15	6	4	7	2	0	12	7	2	1	0	1	0	0	0
SW	36	9	2	23	5	2	3	1	0	6	2	0	1	1	0	3	0	0
TGW	36	19	3	20	14	2	6	1	0	9	3	1	1	1	0	0	0	0
SPAD45	49	19	10	34	17	8	4	0	0	5	0	0	6	2	2	0	0	0
SPAD65	46	17	5	38	17	5	0	0	0	3	0	0	2	0	0	3	0	0
SPAD77	47	20	5	36	20	5	1	0	0	5	0	0	3	0	0	2	0	0
SPAD83	47	18	6	42	18	6	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0
SPAD85	46	18	6	39	16	6	0	0	0	0	0	0	3	2	0	4	0	0
HD	46	21	10	34	17	10	0	0	0	7	4	0	1	0	0	4	0	0
GY	46	23	6	36	21	6	0	0	0	5	1	0	1	0	0	4	1	0
$\Sigma$ :	642	252	81	470	216	72	27	6	0	80	22	6	37	7	3	29	1	0

Tulajdonság	Összes marker-csoport régió			Egyedi környezetben kimutatott marker-csoport régió			$\geq 3$ környezetben kimutatott marker-csoport régió			Évjárat függő marker-csoport régió			Évjáratok között ellentétes kezeléseken kimutatott marker-csoport régió			Kezelés függő marker-csoport régió		
	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3	LOD2	LOD2.5	LOD3
HD	68	35	17	49	30	13	7	3	1	4	1	1	3	0	2	6	1	0
GY	68	35	11	48	32	8	4	0	0	9	2	2	3	1	1	3	0	0
$\Sigma$ :	136	70	28	97	62	21	11	3	1	13	3	3	6	1	3	9	1	0



### ***Hozam és terméskomponensek***

A 188 genotípus vizsgálata során 68 hozamhoz kapcsolódó marker-csoport régiót mutattunk ki, melyekből 46 átfedésben volt a 100 fajta két éves (2011, 2013) vizsgálatával. 48 régiót találtunk, melyek csak egyedi környezetben jelentek meg, vagyis évenként és kezelésként különböző marker-csoportok jellemezték a hozamot. Hat olyan régiót azonosítottunk, amelyek vagy csak a természetes csapadékellátottságú (2) vagy csak az öntözött (4) kezeléseknél kapcsolódtak a hozamhoz. A 3B kromoszóma 82,5 cM régiója LOD2,5 szignifikancia szint esetén mindkét évben, LOD3 küszöbnél 2011-ben is jellemezte a hozamot öntözött kezelésében. Ennek a kromoszómának a 74-90 cM közötti régiója 2013-ban LOD2,5 szignifikancia szintnél is kapcsolódott a Z83 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalomhoz (SPAD83), valamint a kalász tetejéig mért magassághoz jó vízellátottság esetén. Az 5A kromoszóma 192-200 cM régiójához a terméshozam természetes csapadékellátottságnál térképeződött. Ide kapcsolódott a kalászosodási idő és a viaszérés végén (Z85) mért klorofilltartalom szintén mindkét évben.

A szemszélesség a 2A (95-109 cM) és 5B (113-117) kromoszómára térképeződött öntözetlen körülmények között. A 2A kromoszóma esetén ehhez a régiókhoz kapcsolódott az ezerszem-tömeg öntözetlen és öntözött kezeléseknél is, míg az 5B kromoszómánál csak a 2011-es év öntözetlen kezelésében. Mind a négy környezetben szignifikáns szinten kapcsolódott szintén a 2A kromoszóma 204-211 cM régiójához, ahová a Z85 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalom, valamint három környezetben az ezerszem-tömeg is térképeződött.

Az ezerszem-tömeget 36 marker-csoporttal tudtuk kapcsolni, azonban nem találtunk olyan régiót, amely kezelés függő lett volna. A jellemző az volt, hogy egyedi környezetben vagy évjáraton belül mindkét kezelésben kimutatható volt az ezerszem-tömeget jellemző marker-csoport régió, melyhez nagy számban a szemszélesség is kapcsolódott. A 3A kromoszóma 77-90 cM területére térképeződött mind a négy környezetben a szemszélességgel és a kalász tetejéig mért magassággal, a 4B kromoszómán szintén található egy marker-csoport régió (4-16 cM), melyhez három környezetben is térképeződött a szemszélességgel és szemhosszúsággal együtt. Az 5A kromoszómának két régiója (58-68 cM; 120-124 cM) mutatott szignifikáns összefüggést a TGW-vel, melyhez a szemhosszúság is kapcsolódott. A 6B kromoszóma 145-156 cM területére pedig három környezetben térképeződött.

### ***Kalászolási idő***

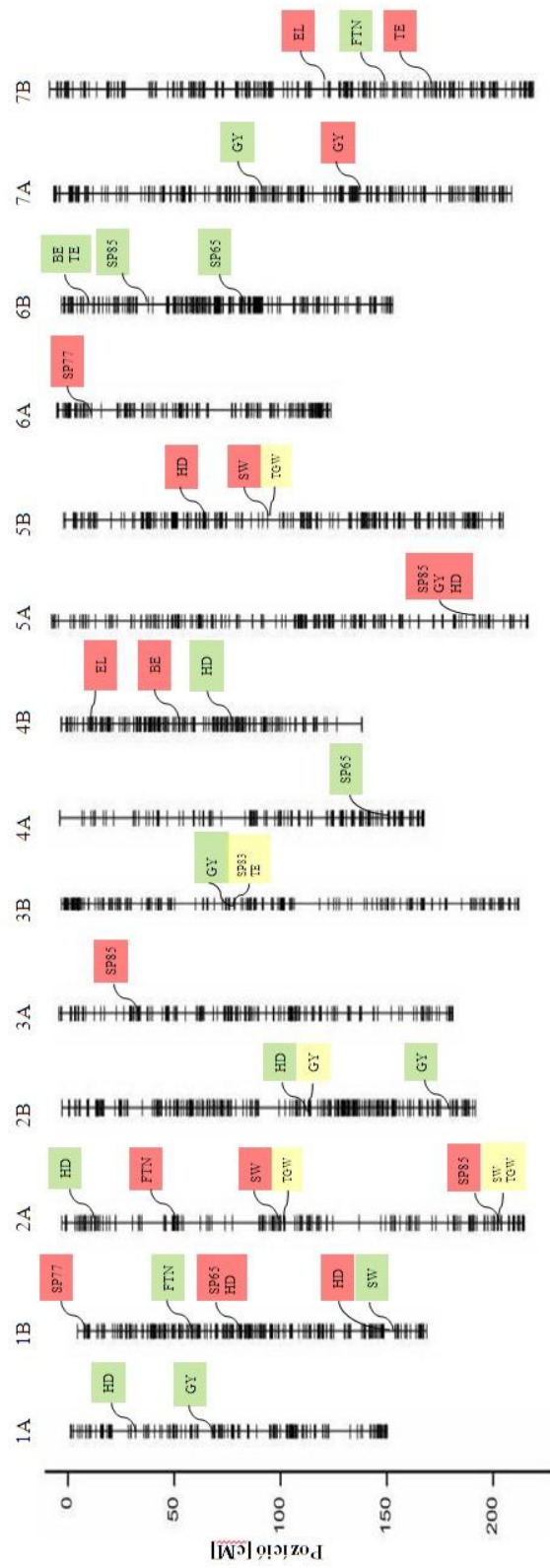
A kalászolási időt 68 marker-csoport régió jellemezte, ebből 49 egyedi környezetben. Nyolc olyan régió volt, ami mind a két évben megjelent vagy az öntözetlen vagy az öntözött kezelésben. A kalászolási idő a virágzaskor mért klorofilltartalommal együtt térképeződött az 1B kromoszóma 81-95 cM régiójára természetes csapadékellátottság esetén, a 2B kromoszóma 47-56 cM (PPD-B1) régiójára pedig a termés hozammal 2013 mindkét kezelésében. Összesen 24 olyan marker-csoportot találtunk, ahol a kalászolási idő és a termés egy régióhoz kapcsolódott az adott év azonos kezelésén belül.

### ***Magasság és fertilis oldalhajtásszám***

Két szignifikáns szintű marker-csoport régiót találtunk melyek öntözetlen (7B kromoszóma, 177-189 cM) és öntözött (6B kromoszóma, 12-18 cM) kezeléseket jellemezték a kalász tetejéig mért magasságot. A 3A kromoszómán található egy stabil marker-csoport régió (77-90 cM), mely kezeléstől függetlenül kapcsolódik a mért magassági paraméterekhez (FLC, BE, TE), szemszélességhez és ezerszem-tömeghez. A fertilis oldalhajtásszám esetén három olyan régió volt, ami mind a két évben megjelent vagy a RF vagy a W kezelésben (1B: 73-74 cM; 2A: 47-52 cM; 7B: 159-165 cM). Ezekhez a marker-csoportokhoz nem kapcsolódott más tulajdonság.

### ***Klorofilltartalom***

Kalász hasban (Z45) és korai viaszéréskor (Z83) mért klorofilltartalom esetén nem azonosítottunk kezeléstől függő marker-csoport régiót. Z65, Z77 és Z85 fejlődési fázisban történt klorofilltartalom mérési eredmények viszont több kromoszómára (1B, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 6B) is térképeződtek, kezeléstől függően. Komplex tulajdonságok két kromoszóma esetén térképeződtek azonos marker-csoport régióhoz, az 1B kromoszóma 81-95 cM régiójára a kalászolási idő és a virágzaskor mért klorofilltartalom, az 5A kromoszóma (192-200 cM) esetén pedig a kalászolási idő, a termés hozam és a viaszérés végén (Z85) mért klorofilltartalom térképeződött mindkét évben, természetes csapadékellátottság esetén. A 2A kromoszóma 198-211 cM régiójához kapcsolódott a SPAD85 tulajdonság természetes csapadékellátottság esetén, valamint az ezerszem-tömeg és szemszélesség tulajdonságok kezeléstől függetlenül.



37. ábra. A kezelés függő marker-csoport – tulajdonság kapcsolat kromoszómális elhelyezkedése, a marker-csoport régióhoz kapcsolódó kezeléstől független tulajdonságokkal együtt (–) termézetes csapadékkellátottsági kezelésben kimutatott marker-csoport régió, – öntözött kezelésben kimutatott marker-csoport régió, – kezeléstől függetlenül kimutatott marker-csoport régió)

### 4.2.3. Az eredmények megvitatása

Annak érdekében, hogy minimálisra csökkentsük az egyedfejlődési fázisok túlzott változékonyságát különböző vízellátottság esetén, a GWA panel genotípusainak kiválasztása viszonylag azonos kalászolási idejük alapján történt. Ezeknek a genotípusoknak a populáció struktúrája azonban jelentős genetikai diverzitással rendelkezett, mely a tulajdonság-kombinációk megnyilvánulásának változatosságát okozta. Ennek háttérében a genotípusok eltérő termesztési környezetből (különböző talajnedvesség, hőmérséklet, betegség) való származása, valamint a különböző nemesítési programok többéves szelekciója következményeként kiválasztott néhány nagyhatású gén jelenléte állt. Ehhez társul természetesen az a tény is, hogy a genotípusok a szelekció folytán folyamatos rekombináción esnek keresztül, míg elérik a kívánt termésmennyiséget és minőséget (Maccaferri *et al.* 2005). Eredményeink azt mutatják, hogy a rendelkezésünkre álló fajtakör alkalmas volt a különböző tulajdonságok szárazság adaptív jellegének genetikai tanulmányozására, hiszen az asszociációs vizsgálat során azonosítottunk olyan szignifikáns marker-csoport régiót, amelyhez egy vagy több tulajdonság térképeződött természetes csapadékellátottság esetén. A vizsgált tulajdonságokhoz kapcsolódó marker-csoportok 73,3%-a csak egyedi környezetben jelent meg, 12,5%-a évjáratfüggő volt, 4,5%-a pedig vagy természetes csapadékellátottság vagy öntözés esetén volt kimutatható. Maccaferri *et al.* (2011) két éves, 15 termőhelyes kísérletükben is arra a következtetésre jutottak, hogy a szárazságstressz növekedésével a tulajdonságokhoz kapcsolódó lokuszok asszociációs térképezéssel történő kimutathatósága csökken. Valószínűleg azért, mert azonos tulajdonsággal (pl. termés hozammal) rendelkező genotípusok különböző adaptív stratégiát alkalmaznak hasonló genetikai felépítettséggel, ami viszont a szignifikáns marker-tulajdonság kapcsolat feltárását nehezíti. Az asszociációs elemzés során találtunk olyan kromoszóma régiókat, amelyek befolyással lehetnek a különböző adaptív és szárazság-érzékeny tulajdonságok (kalászolási idő, magasság, termés hozam, ezerszem-tömeg) változékonyságára, mely annak köszönhető, hogy a nemesítésben közel egy évszázada jelenlévő szelektív nyomás ellenére is az allél-variációk jelentős mennyisége van jelen a durumbúza genotípusokban (Maccaferri *et al.* 2014). A termés hozamot jellemző marker-csoport régiók főleg egyedi környezetben jelentek meg, kezeléstől függően hat marker-csoport régió öt különböző kromoszómán

jellemezte. A kevés számú marker-tulajdonság kapcsolat és az 5%-nál kisebb  $R^2$  értékek a terméshozam komplex jellegéből, valamint a környezettel való interakciójából következnek. A 3B kromoszóma öntözött kezelésekben tartalmazta azt a marker-csoport régiót, melyhez 2013-ban a kalász tetejéig mért magasság és a Z83 fejlődési fázisban mért klorofilltartalom is kapcsolódott. Ez az év volt a legcsapadékosabb, melynek következtében azok a magas genotípusok, amelyek hosszabb vegetációs aktivitással is rendelkeztek, magasabb terméshozamra voltak képesek optimális vízellátottság esetén. Öntözetlen kezelésben a klorofilltartalom és a terméshozam az 5A kromoszómán térképeződött egy marker-csoport régióon belül, és ide kapcsolódott a kalászoslási idő is. Ebből arra következtethetünk, hogy azok a genotípusok, amelyek száraz körülmények között hosszabb kalászoslási idővel és a későbbi fenofázisokban mért magasabb klorofilltartalommal rendelkeztek, nagyobb teljesítményre voltak képesek. Ezt az eredményt támasztják alá fenotípusos analíziseink eredményei is. A 7A kromoszómán mindkét kezelésben tudunk a hozamhoz szignifikánsan kapcsolódó régiót kimutatni. Dodig *et al.* (2012) kísérletében a 3B kromoszómára a szemtermést közvetve meghatározó fertilis oldalhajtásszám, a 7A kromoszómára pedig a kalászonkénti szemszám térképeződött öntözetlen kezelésben. A legerősebb QTL hatást az ezerszem-tömegegre a 3B, 4A és 4B kromoszómákon mutatták ki, a legnagyobb ismételtetőséggel pedig az öntözött kezelésekben (Pinto *et al.* 2010). Számos ezerszem-tömeget jellemző marker-csoport régiót azonosítottunk egyedi környezetben vagy pedig évjáraton belül mindkét kezelésben. A legtöbb régiót a két különböző talajnedvességi szintű kezelésekben mutattuk ki, melyhez nagy számban a szemszélesség is kapcsolódott. A TGW-t jellemző marker-csoport régiók széles környezeti megjelenése várható volt, hiszen ez a tulajdonság, a következetesen hozamfokozó jellege miatt, a célkörnyezettől függetlenül kiválasztásra kerül a szelekció során (Mohammadi *et al.* 2012).

Kísérletünkben, kezelésfüggő környezetben, a klorofilltartalmat nyolc marker-csoport régió jellemezte, hét kromoszómán (1B, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 6B). Öt régiót mutattunk ki, melyek a természetes csapadékelletottságú kezelésekhez kötődtek (1B, 2A, 3A, 5A, 6A). Cao *et al.* (2004) szintén találtak olyan régiókat, melyek a 3A, 4A és 6A kromoszómához kapcsolódtak különböző N-ellátottságnál, Yang *et al.* (2007) pedig öntözött és öntözetlen kezelésekben mutatták ki az 5A kromoszóma régió szerepét búza DH populáció vizsgálata során. A 'Ventor'-hőtoleráns és 'Karl92'-hőstressz érzékeny fajtákból kialakított RIL populáció vizsgálata során szintén találtak a klorofilltartalomhoz szignifikáns szinten kapcsolódó QTL régiókat a 6A,

7A, 1B és 1D kromoszómákon (Talukder *et al.* 2014). A 'Seri85' és 'Babax' fajtákból kialakított RIL populációban a négyzetméterenkénti számszám térképeződött legerősebben az 1B kromoszómára ( $R^2=11.8\%$ ), de ide kapcsolódott a növényi hőmérséklet, a vegetatív fázisban mért NDVI és a szemtelítődéskor mért klorofilltartalom értékek is (Pinto *et al.* 2010). Ugyancsak az 1B, 2D és 5A kromoszómák és a klorofilltartalom kapcsolatát mutatták ki DH populációban Czyczylo-Mysza *et al.* (2011). Munkánk során két olyan kromoszóma régiót azonosítottunk, ahol a klorofilltartalom és a kalászolási idő együtt kapcsolódott (1B: SPAD65+HD), az 5A kromoszóma esetén pedig a terméshozam is jellemezte a kimutatott régiót (5A: SPAD85+HD+GY). Jelenlegi legjobb tudásunk szerint, a klorofilltartalomhoz és terméshozamhoz szignifikánsan kapcsolódó 5A kromoszóma 192-200 cM régiójának azonosítása még nem szerepelt korábbi tanulmányokban. Jövőbeni kutatási célunk ennek a marker-csoport régióknak eltérő genetikai összetételű populációkban történő validálása.

#### ***4.3. Szárazságstressz hatása a morfológiai, fiziológiai, biokémiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúza közel izogén törzsekben***

Részletesen jellemeztük a tavaszi durumbúza izogén törzsek egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságainak változását két egymást követő évben szántóföldön, eltérő vetéssűrűség alkalmazása mellett (2013-2014), illetve esősátor alatt egy tenyészidőszakban (2014). Összehasonlítottuk a *QYld.idw-3B++* és *QYld.idw-3B--* izogén párok tulajdonságait párokon belül és párok között. Vizsgáltuk a terméshozam QTL-ekre szelektált izogén törzsek szárazságtoleranciáját, valamint a QTL hatás jelenlétét tavaszi vetésben. Megvizsgáltuk a zászlólevél poliamin tartalmának és antioxidáns enzim aktivitásának változását szárazságstressz hatására, valamint elemeztük a stresszvédő vegyületek és a terméshozam közötti kapcsolatot. A statisztikai elemzésekben meghatároztuk a genotípus, évjárat, kezelés (öntözés) és vetési sűrűség hatását a vizsgált tulajdonságcsoportokra, valamint elemeztük a tulajdonságcsoportok közötti összefüggéseket.

##### ***4.3.1. Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai tulajdonságokra***

A kétéves szántóföldi kísérlet során az évjárat, a genotípus és a vetési sűrűség szignifikáns hatása ( $P=0,001$ ) érvényesült a kalászolási, virágzási és érési időre, míg a vízellátottság ( $P=0,001$ ) az érés idejét befolyásolta (18. melléklet). 2014-ben 3-5

nappal előbb kalásztak és virágoztak a növények, az érés pedig 5-6 nappal előbb befejeződött a 2013-as évhez viszonyítva. Mindkét évben a csapadékos tavasz hatására az öntözött és természetes csapadékelátottságú területek egyedfejlődési paraméterei közül az érés idejét befolyásolta a virágzás után kijuttatott öntözővíz. A vizsgált két évben az alacsony vetési sűrűség átlagosan két nappal szignifikánsan késleltette a kalászosítás, virágzás és érés időpontját mind az öntözött és mind a természetes csapadékelátottságú ismétlésekben. 2013-ban a NIL-- törzsek egyedfejlődési paraméterei szignifikánsan 1-2 nappal nagyobbak voltak a NIL++ törzsekhez képest. A NIL1-- és NIL1++ törzsek mindkét évben, mindkét kezelésben és vetési sűrűségben a késői csoportba tartoztak, a koraiság tekintetében változó volt a törzsek viselkedése (19. melléklet).

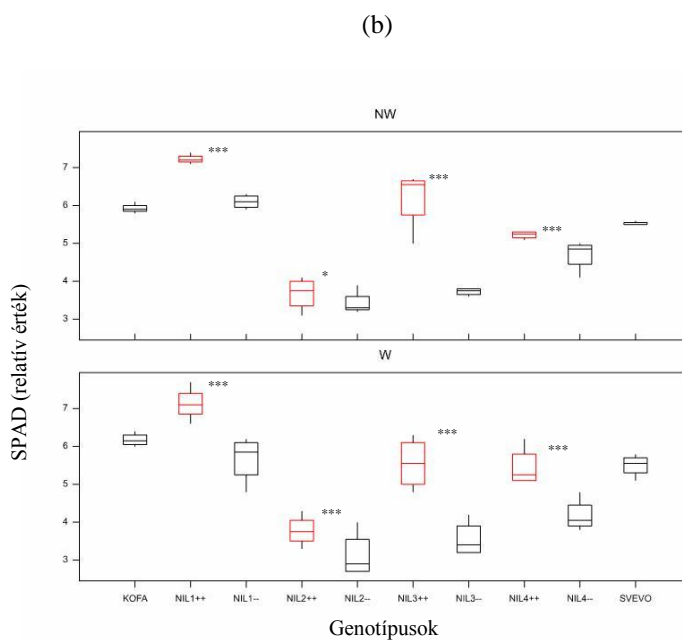
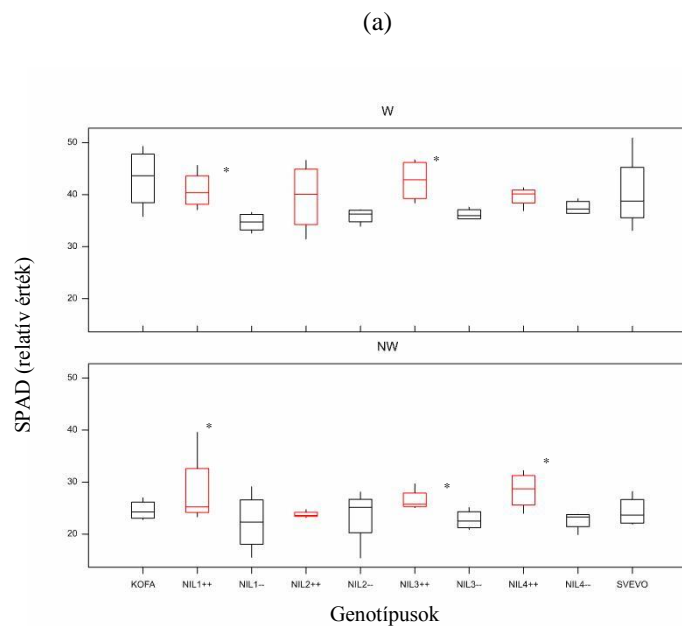
A kétéves szántóföldi vizsgálat során az évjárat és a genotípus a Z45, Z65, Z77 és Z83 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalomra volt szignifikáns hatással, a vízellátottság szignifikáns hatása a Z77 és Z83 fenológiai fázisokban érvényesült (18. melléklet); a GWA panelnél leírtakkal megegyezően az öntözött kezelésben mértünk nagyobb klorofill értékeket. A vetési sűrűség virágzáskor nem, de a többi vizsgált időszakban szintén szignifikáns hatással volt a klorofilltartalom alakulására. 2013-ban az alacsony vetési sűrűségű ismétlések magasabb SPAD-értékekkel rendelkeztek a normál vetési sűrűségű ismétlésekhez képest. Mindkét vizsgált évben a NIL++ izogén törzsek az öntözetlen kezeléseknél szignifikánsan magasabb klorofilltartalommal rendelkeztek a NIL-- törzsekhez képest a Z83 fejlődési stádiumban (20. melléklet). Az NDVI-értékekre a genotípus mindhárom vizsgált fejlődési stádiumban (Z45, Z65, Z83), az évjárat, a vízellátottság és a vetési sűrűség a Z83 fenológiai fázisban gyakorolt szignifikáns hatást. 2013-ban az alacsony vetési sűrűségű ismétlések magasabb NDVI-értékekkel rendelkeztek a normál vetési sűrűségű ismétlésekhez képest. A korai viaszérés stádiumában (Z83) öntözetlen és öntözött kezelésben a NIL++ törzsek szignifikánsan magasabb NDVI-értékkel rendelkeztek a NIL-- törzsekhez képest (20. melléklet).

Az esősátorban végzett kísérletünk során a genotípus és kezelés hatása is szignifikáns volt ( $P=0.001$ ), az öntözés hatására átlagosan hat nappal nőtt a kalászosítási, virágzási és érési idő. A NIL1-- és NIL1++ törzsek tartoztak a késői kalászosítási, virágzási és érési csoportba, míg a NIL2-- és NIL2++ törzsek voltak a legkorábbiak.

Az esősátorban a klorofilltartalom kéttényezős varianciaanalízise során a Z77, Z83 és Z85 fejlődési stádiumban kaptunk szignifikáns ( $P=0.001$ ) genotípus hatást, míg Z65, Z77 és Z83 stádiumokban a vízellátottság hatása volt szignifikáns. Az öntözés a

korai viaszérés stádiumában (Z83) befolyásolta legerősebben a klorofilltartalmat, a SPAD értékek 38%-kal csökkentek az öntözetlen ismétlésekben az öntözöthöz képest (23. melléklet).

Öntözetlen és öntözött kezelésben a NIL++ törzsek magasabb klorofilltartalommal rendelkeztek a NIL-- törzsekhez képest a Z77, Z83 és Z85 fejlődési stádiumokban, valamint szignifikáns különbséget detektáltunk az izogén párok között (38. ábra, 24. melléklet).



38. ábra. A NIL++ és NIL-- törzsek klorofilltartalma közötti különbség (a) korai viaszérés (Z83), (b) késői viaszérés (Z85) fejlődési stádiumokban. NW-öntözetlen, W-öntözött ismétlések (Esősátor, 2014)



A zászlóslevél terület és teljes növényi levélterület mérési eredményei magasan szignifikáns genotípus és kezelés-hatást mutattak az esősátorban. A szárazságstressz minden törzs esetén azonos módon és szignifikánsan csökkentette a teljes növényi levélterületet, átlagosan 46,6%-kal. Ez a csökkenés a kevesebb fertilis oldalhajtásszám kialakulásának következménye. Mind öntözött és mind öntözetlen ismétlésekben a NIL1-- és NIL1++ törzsek rendelkeztek a legnagyobb teljes növényi levélterülettel (PLA), a NIL2-- és NIL2++ törzsek pedig a legkisebbel (23. melléklet). Öntözetlen és öntözött kezelésben a NIL++ törzsek fertilis oldalhajtásszáma (FTN) mindkét évben szignifikánsan magasabb volt a NIL-- törzsekhez viszonyítva, míg a FLA és PLA értékei nem különböztek szignifikánsan a NIL-- törzsekétől. Szántóföldön a zászlóslevél terület (FLA) nagyságára a kezelés és vetési sűrűség hatása nem érvényesült, viszont a törzsek között szignifikáns különbség alakult ki, a NIL1-- és NIL1++ törzsek rendelkeztek a legnagyobb zászlóslevél területtel (19. melléklet). Az esősátorban folytatott kísérlettel megegyezően szántóföldön is a NIL++ törzsek fertilis oldalhajtásszáma szignifikánsan nagyobb volt a NIL-- törzsekhez képest mindkét évben.

A magassági paraméterek mérési eredményeiben is szignifikáns különbség alakult ki a NIL++ és NIL-- törzsek között szántóföldi körülmények között. A NIL++ törzsek magasabb szárral és 2014-ben hosszabb kalással rendelkeztek (20. melléklet). Az öntözetlen ismétlésekben az alacsony vetési sűrűség szignifikánsan magasabb szárhosszt eredményezett, a kalász hosszára és a kalászkaszámra azonban nem volt hatással. Az egyes izogén párok között nagy variáció mutatkozott a felvételezett növényhosszokban. A zászlóslevél, a kalász aljáig, kalász tetejéig, valamint a zászlóslevél levélhüvelyétől a kalász aljáig mért távolságra, valamint az utolsó szártaghosszra szignifikáns hatást gyakorolt a genotípus az öntözés és a vetési sűrűség is. Vízhány hatására a kalászkák száma nem, a kalások hossza azonban csökkent. A NIL3++ törzs volt a legmagasabb, a NIL1-- és NIL1++ törzseknek valamint a Kofa fajtának volt a leghosszabb kalásza öntözetlen és öntözött kezelésben is.

A virágzáskor mért zászlóslevél relatív víztartalomra a kezelés szignifikáns hatással bírt mindkét évben és az esősátor alatti kísérletben, az öntözött ismétlésekben átlagosan 3%-kal nagyobb relatív víztartalmat mértünk. A vetési sűrűség nem befolyásolta az értékeket, a kezelésen belüli RWC-k nem különböztek szignifikánsan egymástól. Genotípus hatás nem érvényesült, a NIL++ és NIL-- törzsek között nem mutattunk ki szignifikáns különbséget. A virágzáskor mért föld feletti friss

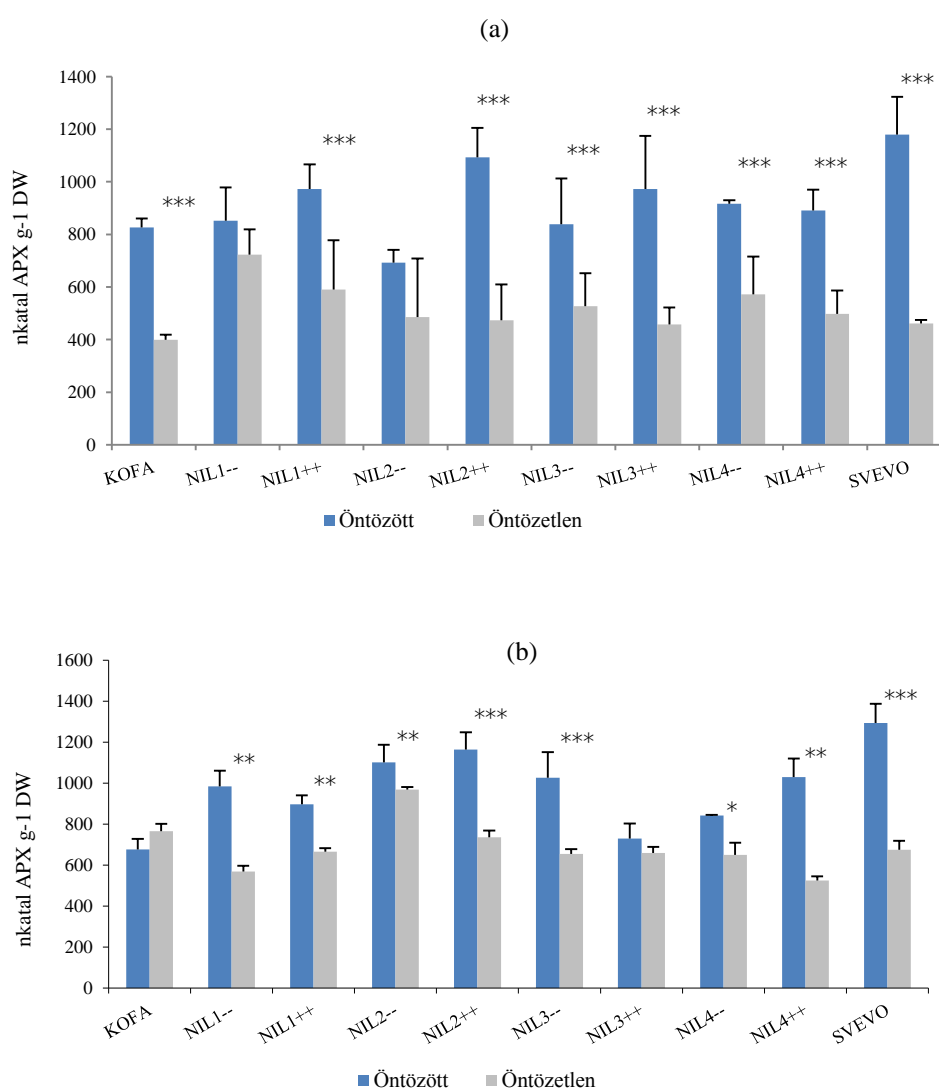
biomassza tömegre (WW65) nem volt hatással az öntözés és a vetési sűrűség, azonban a szárított tömeg (DW65) az öntözött kísérletben szignifikánsan magasabb volt mindkét vizsgált évben. A NIL++ és NIL-- törzsek között nem mutattunk ki szignifikáns különbséget, a NIL1++ és NIL3++ törzsek rendelkeztek a legnagyobb WW65 és DW65 értékekkel mindkét vizsgálati évben, öntözetlen és öntözött kezelésben is.

#### **4.3.2. Szárazságstressz hatása a terméskomponensekre**

Az évjárat, genotípus, öntözés és vetési sűrűség szignifikáns hatása érvényesült a termésre és a terméskomponensekre is. Kivételt képez ez alól a főkalásonkénti alapi és csúcsi steril kalászkák száma, valamint a főkalásonkénti kalászkaszám, az öntözés és a vetési sűrűség ezeket a tulajdonságokat nem befolyásolta. Az alacsony vetési sűrűség szignifikáns pozitív hatással bírt a szemtermés (t/ha), a kalásonkénti szemtömeg és a szemszélesség alakulására. A szem hosszúságát az évjárat és a genotípus befolyásolta szignifikánsan, az öntözésnek nem volt mérhető hatása, az alacsony vetési sűrűség pedig csak 2013-ban eredményezett szignifikánsan hosszabb szemeket. Szárazságstressz hatására a főkalász átlagos szemszáma 20%-kal, szemtömege 30%-kal és ezerszem-tömege 16%-kal csökkent, míg a mellékkalászokban ezeknek a paramétereknek 28, 40 és 17%-os csökkenését mértük az esősátorban. Összehasonlítva a NIL-- és NIL++ csoportokat mindkét vizsgált szántóföldi kísérletben és az esősátor öntözetlen kezelésében, a főkalásonkénti szemszám, szemtömeg és ezerszem-tömeg, valamint a mellékkalásonkénti szemszám és szemtömeg szignifikánsan magasabb volt a NIL++ törzseknél. Az esősátorban a NIL-- törzseknél habár nem szignifikáns mértékben, az alapi és csúcsi steril kalászkák számának növekedését tapasztaltuk az elégtelen vízellátottság hatására. Az egyedi vonalakat figyelembe véve a legnagyobb szemszám, ezerszem-tömeg és szemtermés eredménnyel a NIL3++ törzs rendelkezett öntözetlen és öntözött kezelésben is.

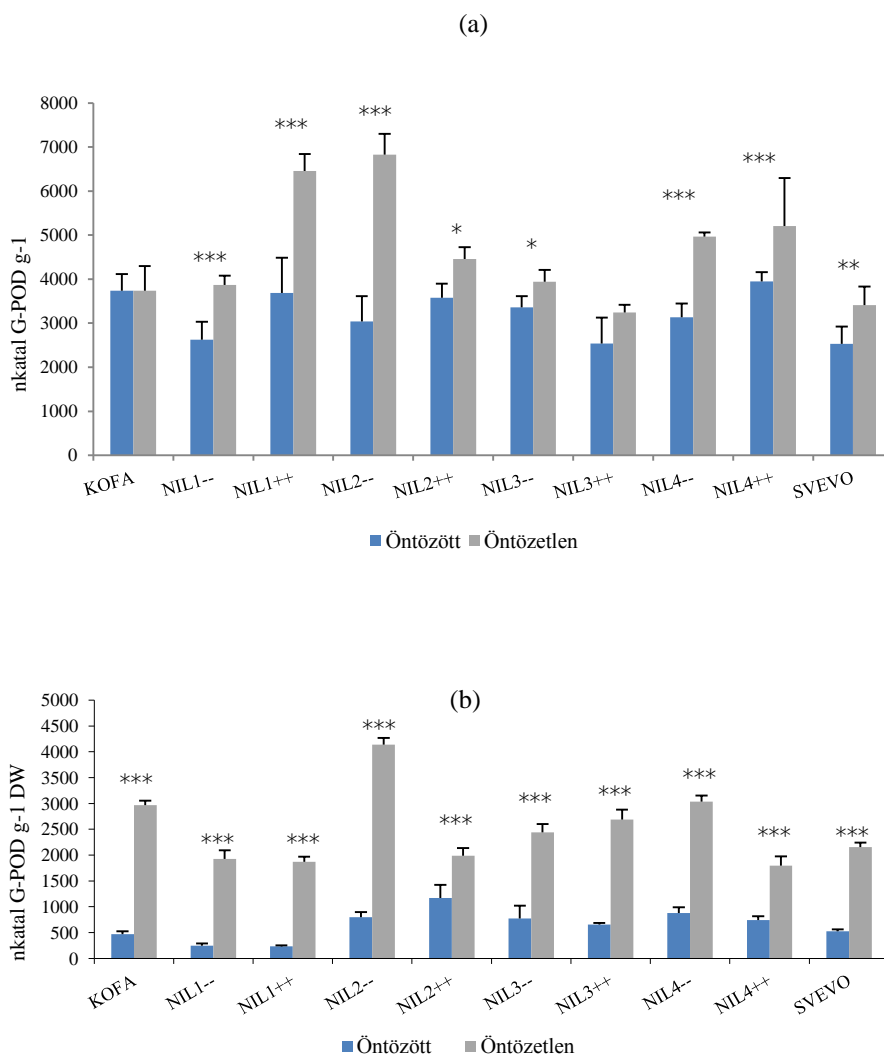
### 4.3.3. Szárazságstressz hatására bekövetkező poliamin tartalom és antioxidáns aktivitás változás

A poliamin tartalom és az antioxidáns aktivitás változásait két kísérletben mértük: a normál vetési sűrűségű szántóföldi (2013) és az esősátor alatti (2014) kísérletekben. A zászlóslevél aszkorbát-peroxidáz (APX) aktivitása szignifikánsan csökkent, a gvajakol-peroxidáz (G-POD) aktivitás és a szabad formában lévő poliamin (PUT-putreszcin, SPD-spermidin és SPN-spermin) tartalom viszont szignifikáns növekedést mutatott szárazságstressz hatására. Az APX enzimaktivitás csökkenés hasonló nagyságrendű volt, átlagosan 70%, kezelésen belül a NIL++ és NIL-- törzsek nem különböztek szignifikánsan egymástól (39. ábra).



39. ábra. Az aszkorbát-peroxidáz (APX) enzim aktivitás változása a zászlóslevélben öntözött illetve öntözetlen kezelésben, (a) szántóföld, (b) esősátor

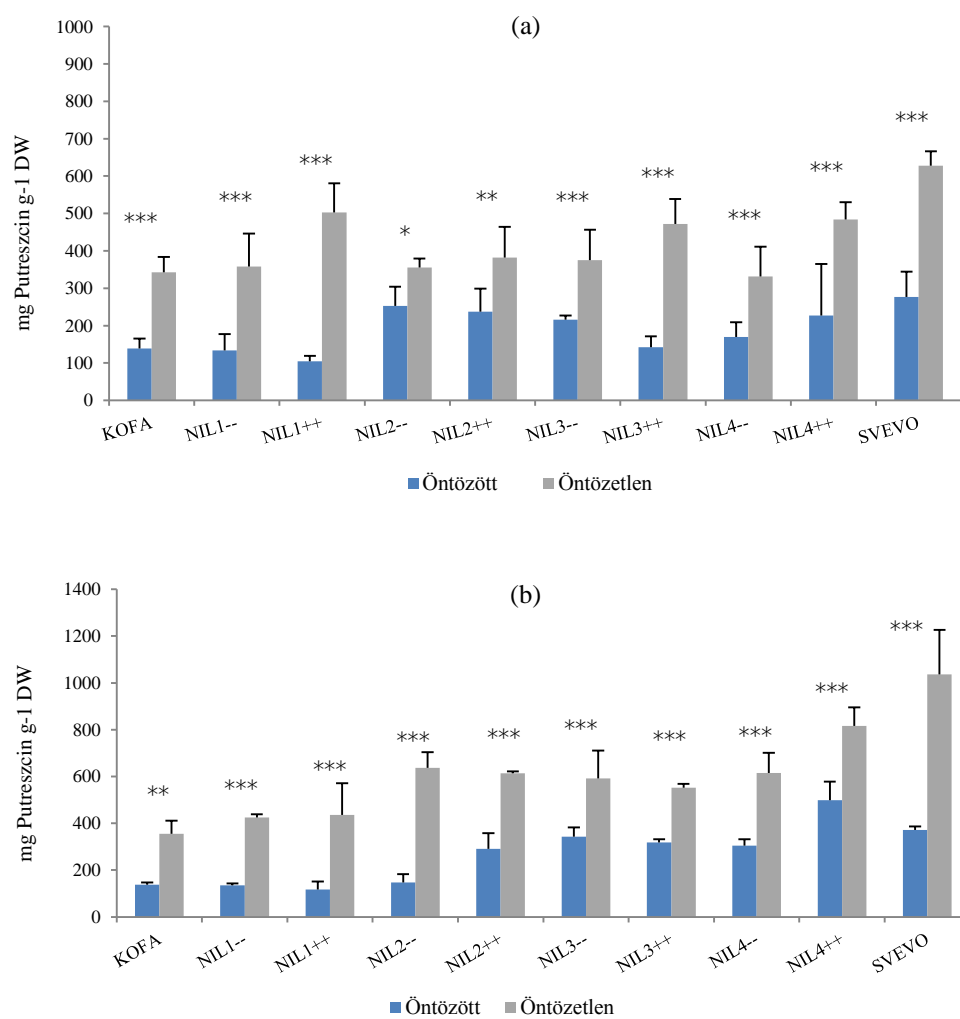
A vízzel jól ellátott ismétlésekhez képest vízhiány hatására a G-POD aktivitás nagymértékű növekedése következett be a vizsgált vonalak és fajták esetén (40. ábra). Ez a növekedés nagyobb mértékű volt a NIL-- törzsek esetén (428 %), összehasonlítva a NIL++ törzsek (298 %) G-POD aktivitásának változásával. A legnagyobb relatív növekedést a NIL1--, NIL1++ és NIL2++ törzsek esetén mértük, míg a legkisebb G-POD aktivitás növekedése a NIL2-- törzsnek volt, mivel ez utóbbi törzs esetében már a vízzel jól ellátott ismétlésekben is magas enzimaktivitást detektáltunk.



40. ábra. A gvajakol-peroxidáz (G-POD) enzim aktivitás változása a zászlóslevélben öntözött illetve öntözetlen kezelésben, (a) szántóföld, (b) esősátor

A vízhiány a PUT, SPD, SPN felhalmózódását indukálta mind a NIL++ és NIL-- törzsekben, kezelés hatására azonban a legnagyobb változást a detektálható poliamintartalom (PUT, SPD, SPN) az egységnyi szárazanyagra vetített putreszcin mennyiségében figyeltük meg (41. ábra). Az agmatin és kadaverin

tartalom a detektálható határ alatt volt. Alacsonyabb PUT, SPD és SPN tartalmat mértünk a NIL1--, NIL1++ és NIL3++ törzsek esetén az öntözött ismétlésekben, szárazságstressz hatása azonban ezeknél a törzseknél magasabb akkumulációt detektáltunk a többi vizsgált izogén törzshöz képest.

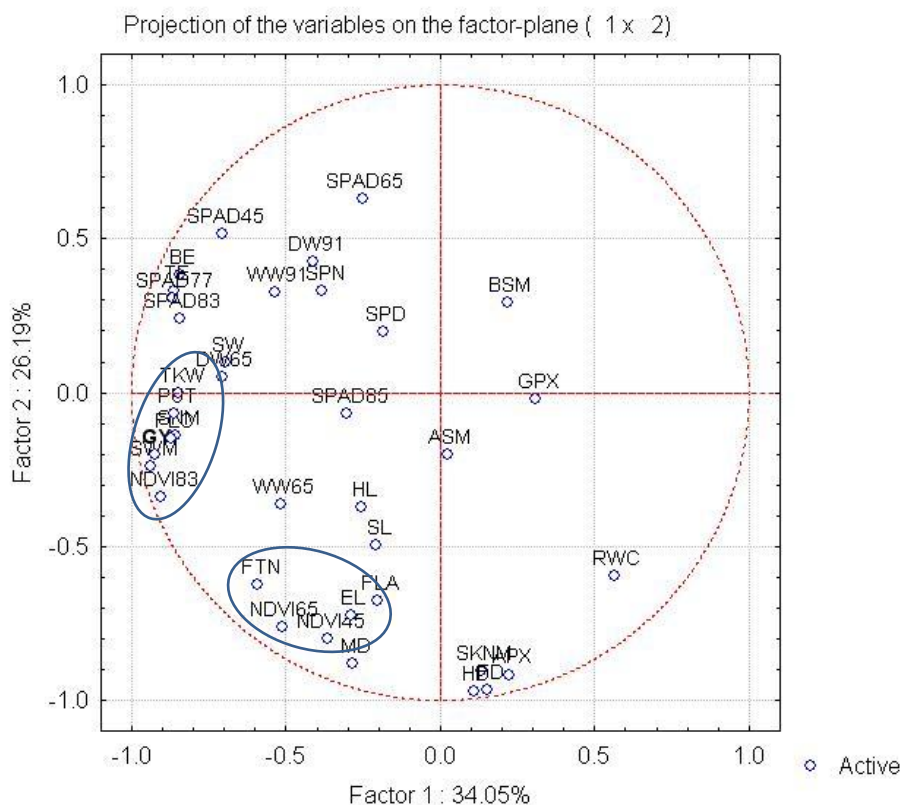


41. ábra. Putreszcin tartalom változása zászloslevélben öntözött illetve öntözetlen kezelésben, (a) szántóföld, (b) esősátor

#### **4.3.4. A morfológiai, fiziológiai, biokémiai tulajdonságok és a terméskomponensek kölcsönhatása szárazságstressz során**

Vizsgálatunkban az egyes morfológiai, fiziológiai és biokémiai paraméterek, valamint a különböző terméskomponensek közötti összefüggésekre voltunk kíváncsiak a két vizsgálati év kombinációiban, szárazságstressz során. A tulajdonságpárok közötti kapcsolat szorosságát Pearson-féle korrelációs együtthatóval határoztuk meg, a tulajdonságok teljes adatmátrixában fennálló háttér összefüggéseket főkomponens-elemzéssel vizsgáltuk.

A tulajdonságok közötti összefüggések főkomponens analízise során hat faktor eigen (saját) értéke volt nagyobb egynél, amelyek együttesen a teljes variancia 97,89%-át magyarázták (21. melléklet). Az első háttérváltozó (a teljes variancia 34,05%-a) legerősebben a terméshozammal ( $r=0,92^{***}$ ), valamint egyes terméskomponensekkel (SNM, SWM, TGW, SW;  $r=0,70^{**}$ - $0,93^{***}$ ), morfológiai (FLC, BE, TE, DW65;  $r=0,84^{**}$ - $0,87^{***}$ ) és fiziológiai paraméterekkel (SPAD45, SPAD77, SPAD83, NDVI83;  $r=0,70^{**}$ - $0,92^{***}$ ), valamint a putreszcinnel ( $r = 0,86^{***}$ ) állt összefüggésben. A második faktor (a teljes variancia 26,19%-a) az egyedfejlődési fázisokkal (HD, FD, MD;  $r=0,88^{***}$ - $0,97^{***}$ ), morfológiai tulajdonságokkal (SKNM, FTN, FLA, EL;  $r=0,62^{**}$ - $0,91^{***}$ ), fiziológiai paraméterekkel (NDVI45, NDVI65;  $r=0,76^{**}$ - $0,80^{**}$ ) és az aszkorbát-peroxidáz aktivitással ( $r = 0,92^{***}$ ) korrelált. A virágzáskor mért klorofilltartalom (SPAD65;  $r=0,63$ ) és friss biomasszatömeg (WW65;  $r=0,75^{**}$ ), valamint a hektoliter tömeg ( $r=0,80$ ) és szemszélesség ( $r=0,70^{**}$ ) a harmadik háttérváltozóval mutatott szoros összefüggést. A faktor-változó korrelációk mintázata alapján a terméshozammal nyolc vizsgált tulajdonság: a betakarítás után mért főkalászonkénti szemszám, szemtömeg, szemszélesség és ezerszem-tömeg, a morfológiai tulajdonságok közül pedig a virágzáskor mért szárított biomassza-tömeg, a korai viaszérés stádiumában mért NDVI érték, a zászlóslevél mért magasság és a putreszcin alkotott egy csoportot (42. ábra). A biomassza-tömeghez kapcsolódó morfológiai tulajdonságok és a szemtelítődéskori vegetációs aktivitás is jelzi, hogy fontos szerepet játszanak a terméshozam meghatározásában résztvevő terméskomponensek kialakításában. Az egységnyi területre jutó oldalhajtás számot és zászlóslevél területet a parcellák vegetációs aktivitásának mérésével jól jellemezhetjük, ezt igazolja ezeknek a tulajdonságoknak egy csoportba kerülése.



42. ábra. Az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és biokémiai tulajdonságok, valamint a hozam és terméskomponensek főkomponens-elemzése során kimutatott kapcsolatrendszer a két évben vizsgált öntözetlen kezelések átlagából képzett tulajdonságmátrix alapján (Tükrösi tenyészkert, 2013-2014)

Az izogén törzsek termés hozama szignifikáns korrelációt mutatott az ezerszem-tömeeggel ( $r=0,735^*$ ), a főkalásonkénti szemszámmal ( $r=0,846^{**}$ ) és szemtömeeggel ( $r=0,844^{**}$ ), a morfológiai tulajdonságok közül a magassági paraméterekkel (FLC:  $r=0,800^*$ ; BE:  $r=0,679^*$ ; TE:  $r=0,717^*$ ), a parcellák virágzáskori és szemtelítődéskori vegetációs aktivitásával ( $r=0,684^*$ ,  $0,863^{**}$ ), a Z77 és Z83 fejlődési stádiumban mért zászlóslevél klorofilltartalmával ( $r=0,786^{**}$ ,  $0,772^{**}$ ), a négyzetméterenkénti oldalhajtásszámmal ( $r=0,689^*$ ), és a virágzáskor mért szárított biomassza-tömeeggel ( $r=0,648^*$ ) (22. melléklet). A korrelációs kapcsolatok alapján megállapítható, hogy legnagyobb mértékben a négyzetméterenkénti oldalhajtásszám befolyásolta szignifikánsan a termést (a fenotípusos variancia 40,41%-át magyarázva), a főkalásonkénti szemszámot (48,87%), és a főkalász szemtömegét (22,79%) (6. táblázat). A zászlóslevél és a kalász tetejéig mért magasság szignifikánsan korrelált a termés hozammal és az ezerszem-tömeeggel. A Z65, Z77, Z83 és a Z85 fázisokban mért zászlóslevél klorofilltartalom statisztikailag igazolható szinten összefüggésben állt a termés hozammal, a virágzáskor mért klorofilltartalom az ezerszem-tömeggel, a főkalász szemtömegével és a szemszélességgel. A főkalász

szemtömegét a Z77 és Z83 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalom is szignifikán szinten befolyásolta, míg a főkalásonkénti szemszámot a tejeséréskor mért klorofilltartalom és a zászlóslevélterület. A parcellák korai viaszéréskor mért fényvisszaverő képessége (NDVI83) a hozammal, a főkalász szemtömegével a főkalásonkénti szemszámmal korrelált szignifikánsan. A virágzáskor mért föld feletti friss és szárított biomassza-tömeg szignifikánsan korrelált a hozammal, az ezerszem-tömeggel, a főkalász szemtömegével és a szemszélességgel.

6. táblázat. A morfológiai, fiziológiai paraméterek és a terméskomponensek közötti kapcsolatrendszer öntözetlen kezelésben (Tükrösi tenyészkert, 2013-2014)

Tulajdonság	Jellegek közötti szimpla regresszió (R <sup>2</sup> )				
	GY	TGW	SNM	SWM	SW
Évjáratok és kezelés főátlagában					
<b>NDVI45</b>	-	-	-	-	-
<b>NDVI65</b>	-	-	-	-	-
<b>NDVI83</b>	38,16***	-	18,29*	45,78***	-
<b>SPAD45</b>	-	-	-	-	-
<b>SPAD65</b>	13,33*	16,49*	-	27,78***	25,26**
<b>SPAD77</b>	32,73***	-	38,41***	38,98***	-
<b>SPAD83</b>	44,38***	-	-	21,38***	-
<b>SPAD85</b>	16,51*	-	-	-	-
<b>FLC</b>	15,27*	33,11***	-	-	16,00*
<b>BE</b>	33,35***	-	-	-	-
<b>TE</b>	34,04***	12,81*	-	-	-
<b>EL</b>	-	37,42***	-	-	34,36***
<b>FTN</b>	40,41***	-	48,87***	22,79***	-
<b>FLA</b>	-	-	14,65*	-	-
<b>WW65</b>	17,55*	18,89*	-	37,34***	30,37**
<b>DW65</b>	12,74*	31,45***	-	39,07***	15,08*

Az öntözetlen kezelésben vizsgált szemtermés tulajdonságok szignifikáns kapcsolatát mutattuk ki a felvételezett fiziológiai, morfológiai és biokémiai tulajdonságokkal az esősátorban végzett kísérlet során is (25. melléklet). A zászlóslevél klorofilltartalma szignifikáns pozitív kapcsolatot mutatott a főkalász szemszámával ( $r=0,450^{**}$ ), szemtömegével ( $r=0,682^{***}$ ) és ezerszem-tömegével ( $r=0,580^{***}$ ) Z45 fejlődési stádiumban, valamint a mellékkalász szemszámával ( $r=0,649^{***}$ ) és szemtömegével ( $r=0,622^{***}$ ) Z85 fejlődési stádiumban. A zászlóslevél terület a mellékkalászok



szemtömegével ( $r=0,426^{**}$ ) és ezerszem-tömegével ( $r=0,520^{***}$ ) állt pozitív szignifikáns kapcsolatban.

Az APX és GPX aktivitás között pozitív szignifikáns kapcsolatot találtunk ( $r=0,721^{***}$ ), míg szignifikáns negatív korreláció volt kimutatható az APX aktivitás valamint a főkalász és mellékkalász szemtömege ( $r=-0,446^{**}$ ,  $r=-0,465^{**}$ ) és a főkalász és mellékkalász ezerszem-tömege ( $r=-0,396^{**}$ ,  $r=-0,490^{**}$ ) között. Szintén szignifikáns negatív kapcsolat állt fent a GPX aktivitás és a fő és mellékkalászok szemszáma ( $r=-0,457^{**}$ ,  $r=-0,378^{*}$ ) illetve a mellékkalász szemtömege között ( $r=-0,380^{*}$ ).

A PUT a SPD és SPN tartalommal mutatott szignifikáns kapcsolatot ( $r=0,542^{***}$ ,  $r=0,569^{***}$ ), míg a PUT, SPD és SPN tartalom mind a főkalász szemszámával ( $r=0,534^{***}$ ,  $r=0,496^{***}$ ,  $r=0,481^{**}$ ), mind a szemtömegével ( $r=0,383^{*}$ ,  $r=0,352^{*}$ ,  $r=0,399^{**}$ ) szignifikáns pozitív kapcsolatban állt.

#### **4.3.5. Az eredmények megvitatása**

A 3B kromoszóma rövid karján elhelyezkedő *QYld.idw-3B* QTL régióban különböző közel izogén durumbúza törzsek felhasználásával vizsgáltuk az évjárat, genotípus, QTL régió és öntözés együttes hatását.

A szántóföldi kísérletek során alacsony talajnedvesség és magas hőmérsékleti értékek a tejesérés megkezdésétől voltak mérhetőek. Az esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti területen lévő öntözetlen ismétlések növényei a teljes tenyészidőszak folyamán erős szárazságstressznek voltak kitéve, mely hatással volt a virágzat kialakulására, a termékenyülésre és a szemtermés mennyiségére. Az erős stressz hatására a levelek sárgulása a teljes állományban már virágzás után elkezdődött, jelezve a korai öregedést, ezen belül azonban az egyes közel izogén törzsek különböző mértékű klorofilltartalom csökkenéssel reagáltak. A klorofilltartalom elvesztésével a fotoszintetikus apparátus károsodott, mely a fotoszintetikus energia átalakításának kapacitását és hatékonyságát is csökkentette (Adu *et al.* 2011). A *QYld.idw-3B++* izogén törzsekben az átlagos klorofilltartalom szignifikánsan magasabb értékét detektáltunk a Z77, Z83 és Z85 fejlődési stádiumban, a *QYld.idw-3B--* törzsek öntözött és öntözetlen kezelésben is alacsonyabb klorofilltartalommal rendelkeztek. Közepes erősségű stressz esetén (a szántóföldi kísérletben) korai viaszérés során (Z83) alakult ki a NIL++ és NIL-- párok közötti különbség, mely jelezte, hogy a vizsgált *QYld.idw-3B++* QTL-régió hosszabb perióduson át tudja fenntartani a fotoszintetikus aktivitást, s így az

magasabb szemszámban és szemtömegben realizálódik a tenyészidőszak végén. A ZD45, ZD65, ZD77 és ZD83 fejlődési stádiumban mért zászlóslevél klorofilltartalom a főkalász szemszámával és szemtömegével, míg a ZD85 fejlődési fázisban a mellékalász szemszámával és szemtömegével korrelált szignifikánsan, mely szintén megerősíti ezt a feltételezést. A nemesítői munka során azok a fiziológiai paraméterek (zászlóslevél klorofilltartalom, klorofill fluoreszcencia), amelyek pozitív korrelációban állnak a hozammal szárazságstressz során, felhasználhatóvá válhatnak a ‘zölden-maradó’ és ezáltal jobb stressztűréssel rendelkező genotípusok azonosítására (Sukumaran *et al.* 2015). Kísérletünkben a zászlóslevél klorofilltartalmára a Z83 fejlődési stádiumban mért szignifikáns kezelés-hatás alapján, száraz körülmények között ennek a fiziológiai paraméternek a segítségével hatékonyan választhatjuk ki a hosszabb ideig fotoszintetizálásra képes egyedeket. Erre alkalmas műszer a SPAD klorofillmérő, mely megfelelő a zöld levélfelület hosszabb időn át való megtartásának, valamint a klorofill vesztes ütemének mérésére (Lopes és Reynolds 2012).

Ha a talajban nem áll rendelkezésre a fejlődéshez szükséges vízmennyiség, akkor a növekedés gátlódik, kevesebb biomasszatömeg alakul ki, s így az nem tudja maximálisan biztosítani a szemek feltöltődését. A termés csökken a kisebb szemek miatt, vagy (ha a stressz korábbi fejlődési fázisban alakul ki) a kevesebb kalászonkénti szemszám hatására. A növekedés fenntartásához alapvető a pozitív turgor (Dodig *et al.* 2015), ennek köszönhető, hogy a magassági paraméterek (FLC, BE, TE) és a virágzáskori szárított biomasszatömeg (DW65) szignifikánsan magasabb értékeit kaptuk optimális vízellátottságnál mindkét általunk vizsgált évben. A szár szárított tömegében bekövetkező változások mérésével becsülhető a tartalék tápanyagok szemekbe történő mozgósításának mértéke (Cruz-Aguado *et al.* 2000; Ehdai *et al.* 2006), számos kutató pedig arról is beszámolt, hogy mind a vegetatív szervek raktározási kapacitásában mind pedig az újramozgósításuk hatékonyságában genetikai variabilitás mutatható ki. Kísérletünkben kimutatható volt a szárított biomassza-tömeg szignifikáns pozitív kapcsolata a terméssel és terméskomponensekkel (GY, SNM, SWM), a magassági paraméterekkel (FLC, BE, TE), így genetikai variabilitása szárazságstressz során lehetőséget kínál a nemesítésben való felhasználására (Majer *et al.* 2008).

A szemtermés alakulását erősen befolyásolta a kezelés, míg a genotípus a főkalász ezerszem-tömegére, valamint a mellékalász szemszámára és szemtömegére volt szignifikáns hatással. Összehasonlítva a törzseket az öntözetlen kezelésben,

szignifikánsan több szem és szignifikánsan nagyobb szemtömeg volt mérhető a főkalászban a NIL1++ és NIL2++ törzsek esetén, míg a NIL1++ és NIL3++ törzsek a mellékkalászban rendelkeztek szignifikánsan nagyobb szemszámmal és szemtömeggel. Ez is igazolja annak a lehetőségét, hogy a *QYld.idw-3B++* törzsek magasabb hozama a 3B kromoszómán lévő Kofa QTL pozitív hatásának köszönhető, szárazságstressz során, tavaszi vetésben. Bennett *et al.* (2012) a 3B kromoszómán két olyan QTL régiót is azonosítottak, melyek a termés hozammal és a növényi hőmérséklettel mutattak szoros kapcsolatot egy szárazságtoleráns törzs és egy érzékeny fajta keresztezéséből származó dihaploid populációban (RAC875/Kukri). Ugyancsak a 3B kromoszómán találtak a hozamhoz kapcsolódó Meta-QTL-t (Zhang *et al.* 2010), valamint a növényi hőmérséklethez, a tejeséréskor mért klorofilltartalomhoz és NDVI értékhez szorosan kapcsolódó QTL-t hőstressz során (Pinto *et al.* 2010). Bonneau *et al.* (2013) a hozammal, ezerszem-tömeggel és korai növekedési eréllyel összefüggésben álló régiót azonosítottak 21 különböző környezetben dihaploid őszi búza populációban. A 3BS kromoszómán azonosított qGYWD.3B.1 és qGYWD.3B.2 genomi régiók a termés hozammal, a négyzetméterenkénti szemszámmal, fertilis oldalhajtásszámmal és kalászszámmal mutattak szignifikáns kapcsolatot RIL térképező őszi búza populációban (Shukla *et al.* 2015). Az alacsony vetési sűrűség, mely megteremtette a növények számára a nagyobb tenyészterületet, egyértelműen pozitív, szignifikáns hatással volt a szemtermésre, a kalásonkénti szemtömegre és szemszélességre. Ezt számos közvetett tulajdonság segíthette (magasabb klorofilltartalom és NDVI érték, hosszabb szár, nagyobb gyökérzet). Azok a genotípusok, amelyek jó bokrosodási képességgel rendelkeznek, alacsonyabb vetési sűrűségnél jobban tudnak teljesíteni, valószínűleg a jobb víz-, napsugárzás- és nitrogénhasznosítás következtében (Wood *et al.* 2003; Valério *et al.* 2013). A fény, mint a sejtosztódás korai szignálja, befolyásolja az új levelek és oldalhajtások kialakulását, evvel pedig növelve a fotoszintetikusan aktív zöld növényi felületet. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy az alacsony bokrosodási képességű, kevés oldalhajtásszámmal rendelkező genotípusoknál a magasabb vetési sűrűség tudja biztosítani a megfelelő termés hozam kialakulását (Ozturk *et al.* 2006).

Számos növényfajnál kimutatták az összefüggést a szárazságtűrés és az antioxidáns-metabolizmus változása között. Szárazságstressz során azonban az antioxidáns enzim aktivitás nagymértékben függ nemcsak a vizsgált enzim fajtájától, hanem a növényi fajtól, a stressz erősségétől és a stressz időtartalmától is (DaCosta és Huang 2007).

Réti perje esetén figyelték meg, hogy a szárazság ugyan csökkentette az APX aktivitást, azonban a szárazságtűrő genotípusoknál kisebb mértékű csökkenés volt mérhető. A GPX aktivitásban nem volt különbség az érzékeny és a toleráns genotípusok között (Xu *et al.* 2011). Búzában vízhiány hatására ugyancsak az APX aktivitás csökkenését, valamint a GPX aktivitás növekedését figyelték meg (Chakraborty és Pradhan 2012), ellentétben Huseynova (2012) kísérletével, ahol az APX aktivitás növekedése volt detektálható mind a toleráns és mind az érzékeny genotípusoknál. A maximális aktivitás a virágzás végén alakult ki a szárazságtűrő genotípusoknál, míg az érzékenyeknél a kalászás végén.

Kísérletünkben a zászlóslevelek APX aktivitásának csökkenése az öntözetlen kezelésben hasonló nagyságú volt az izogén vonalakban. Ezzel szemben a zászlóslevelek magasabb GPX aktivitását mértük minden törzs esetén az öntözetlen kezelésben a jó vízellátottságú ismétlésekhez képest. Ezzel párhuzamosan az APX aktivitás szignifikáns negatív korrelációt mutatott a fő és mellékalász szemtömegével, a zászlóslevél területtel és a SPD tartalommal száraz körülmények között. A GPX aktivitás ugyancsak negatív korrelációt mutatott számos termékkomponenssel (SNM, SNS, SWS), alátámasztva ezeknek az enzimeknek a stressz válaszban betöltött szerepét.

A poliaminok védő szerepet töltenek be stressz körülmények között, azonban az ezzel kapcsolatos irodalmi leírások nem egyöntetűek. Több esetben pozitív korrelációt találtak az endogén poliamin tartalom és a különböző stressz faktorok hatása között (Minocha *et al.* 2014), míg számos növényfajnál a korreláció negatív volt, vagy nem volt kimutatható (Pál *et al.* 2015). Kísérletünkben a poliaminok akkumulációja megnőtt az izogén törzsek zászlósleveleiben szárazságstressz során, legnagyobb mértékben a PUT, SPD és SPN esetén, s a három PA tartalom között szignifikáns, pozitív összefüggést mutattunk ki. Ugyancsak szignifikáns, pozitív korrelációt találtunk a poliamin tartalom és a főkalász szemszáma/szemtömege között az öntözetlen kezelésben. Liu *et al.* (2013) búzában pozitív korrelációt írtak le a szemek endogén SPD és SPN tartalma és a szemtelítődés aránya között, valamint az abszcizinsav/etilén arány és a maximális szemtömeg, valamint a maximális és átlagos szemtelítődési arány között. A termés, mint a szemtelítődési folyamat végeredménye, szoros kapcsolatban áll és függ a zászlóslevél szerepétől (Biswal és Kohli 2013). Még nem teljesen tisztázott, hogy ténylegesen hogyan működik a zászlóslevél szárazságstressz során, milyen védekező mechanizmusok és védővegyületek biztosítják a megfelelő és hatékony működését. Kevés tanulmány

számolt be a zászlóslevél fiziológiájának megértéséről, különösen molekuláris szinten. Eredményeinkkel egyetértésben Yang *et al.* (2007) kísérletében szárazságstressz során különböző rizsfajták zászlóslevelének szabad SPD és SPN, valamint oldhatatlan-konjugált PUT tartalma szignifikáns összefüggésben állt a fajták hozamarányával (öntözetlen/öntözött hozam). Ugyancsak az ozmoregulátorok megnövekedett szintjét (poliaminok, prolin, glicinbeatin, cukrok) mutatták ki szárazságstressz során búza zászlóslevelében; a toleráns fajták esetén pedig nagyobb mértékű emelkedés volt bizonyítható (Biswal és Kohli 2013).

#### **4.4. Új tudományos eredmények**

1. Kialakítottunk egy komplex szántóföldi fenotipizálási rendszert, mely a növény-környezet-talaj-genetika négyes kombinációjának együttes vizsgálatával pontos képet adott az egyes paraméterekben bekövetkező változások nagyságáról, a szárazságstressz okozta morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok alakulásáról. Ez a rendszer a későbbiek során is felhasználható a nagy területigényű szántóföldi kísérletek vizsgálata során.
2. Igazoltuk, hogy a tavaszi durumbúza vizsgált morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságaira az évjárat és a vízellátottság befolyásoló hatása volt a legnagyobb, még a magas ismételhetőségi ( $h^2$ ) értékszámmal rendelkező paraméterek esetén is. Kivételt képezett ez alól az ezerszem-tömeg, melynél a három év eredménye szárazságstressz esetén is ennek a tulajdonságnak a nagy stabilitását mutatta.
3. Kimutattuk a korai viaszérés stádiumában (Z83) mért SPAD, NDVI értékek és a terméshozam szignifikáns pozitív korrelációját aszályos körülmények között. Ebben a fenofázisban azonosítottunk olyan magasabb zászlóslevél klorofilltartalommal rendelkező genotípusokat, melyeknek szenescenciája késleltetett volt és ez magasabb terméshozamban realizálódott.
4. Meghatároztuk a durumbúza GWA panel populáció struktúráját, valamint összeállítottuk az LD térképét a 90K SNP Infinium markerező platformból származó 5879 SNP marker alkalmazásával.

5. A teljes genomra kiterjedő asszociációs elemzéssel egyedi környezetben megjelenő, évjáráttól vagy kezeléstől függő kromoszómarégiókat azonosítottunk, amelyek szerepet játszanak a morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok szabályozásában. Két marker-csoport régiót azonosítottunk, melyekben a zászlóslevél klorofilltartalom és a kalászolási idő QTL-jei együtt kapcsolódtak (1B, 5A), az 5A kromoszóma esetén a kimutatott régióhoz a terméshozam QTL-je is kötődött.
6. Igazoltuk a *QYld.idw-3B++* tavaszi durumbúza izogén törzsek zászlósleveleink hosszabb perióduson át fenntartott fotoszintetikus aktivitását, és ezáltal a *QYld.idw-3B* QTL régió terméshozamra kifejtett szignifikáns hatását két éves szántóföldi kísérletben.
7. Kimutattuk a vizsgált stresszvédő vegyületek mennyiségének és aktivitásának szignifikáns változását közel izogén tavaszi durumbúza törzsekben elégtelen vízellátottság hatására, így alátámasztottuk a vizsgált vegyületek stressz válaszban betöltött szerepét szántóföldi körülmények között. Igazoltuk az aszkorbát-peroxidáz és gvajakol-peroxidáz enzimek aktivitásának negatív, valamint a poliamin tartalom szignifikáns, pozitív korrelációját számos terméskomponenssel.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Termesztett növényeink optimális fejlődéséhez és terméshozamának eléréséhez elengedhetetlen a megfelelő hőmérséklet és vízellátás. Ez különösen fontos a kalászos növények életciklusának fő fejlődési fázisaiban. Megfelelő talajnedvesség esetén egyenletes lesz a kelés, növekedés, pollentermelés, szemkötődés és szemtelítődés. A terméshozamot azonban nemcsak az évjáratok közötti különbségek alakítják, hanem azon belül az egyes fejlődési szakaszok során fellépő eltérő környezeti hatások is. S mivel a terméshozam többgénés mennyiségi tulajdonság, a genotípus  $\times$  környezet interakció szintén nagymértékben befolyásolja alakulását. Ezt a kölcsönhatást az évjáratok és környezetek összefüggésében összehasonlított genotípusok relatív sorrendjében beállt változás, vagy egy viszonyítási alapként szolgáló standard genotípushoz képest változó teljesítmény jelzi, és természetesen felhívja számunkra a figyelmet a termesztés termőhelyi korlátaira is. A nemesítói programok sikerességének előfeltétele a jellegzetes körülményeket kellőképpen reprezentáló célkörnyezet (target environment) meghatározása, melynek elég nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy gazdaságilag indokolja a nemesítói programot. A célkörnyezet elemzése ráfordítja a figyelmet a növény szárazságstresszre legérzékenyebb időszakára, ez pedig segíthet a megfelelő tulajdonság kiválasztásában a szelekció során. Ideális esetben a termesztési környezetek a genotípusokat azonos sorba rendezik, más szóval nincs genotípus és környezet (G $\times$ E) kölcsönhatás. Ez azért is fontos, mert a genotípus-környezet komplex kölcsönhatása - különösen aszályra hajlamos környezetben- csökkentheti a hozam örökölhetőségét, számunkra pedig a jól teljesítő fajták kiválasztásának lehetőségét. Ha a termesztési célkörnyezetek megegyező talajnedvesség profillal és szinte azonos biotikus és abiotikus stressz-faktorokkal rendelkeznek, akkor a nemesített fajták várhatóan azonos szinten és jól fognak teljesíteni. Azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy számos tulajdonság esetében a genotípusok jelentős variabilitását kaptuk, tehát nagyon nehéz megbecsülni egy genotípus környezeti faktorra való válaszát egy másik genotípus válaszából. Ez részben azért lehet, mert minden egyes változásra a genotípusok érzékenysége, s ebből kifolyólag a válaszreakciója is különböző. Valamint azért is, mert ezek a válaszok és kölcsönhatásaik különbözőek lehetnek a növények egyes fejlődési szakaszaiban, s ezzel a stresszre adott válaszreakció még nagyobb komplexitását eredményezhetik. Ez a komplexitás negatívan befolyásolja a jelentősen eltérő termesztési környezetekben való

terméshozam előrejelzését és modellezését, a nemesítési szelekció során azonban a nagy genotípusos variabilitást mindenképp pozitív előnynek kell tekintenünk.

A legtöbb agronómiai és fiziológiai tulajdonság mérése technikailag nehéz vagy különösen drága nagyszámú genotípus vizsgálata esetén. Ehhez társul az a tény is, hogy a közvetett tulajdonságokra alapozott különböző szelekciós kritériumok szignifikáns változást mutatnak az eltérő populációkban, tehát szükséges diverzifikáltabb genetikai állományban és több termőhelyen történő vizsgálatuk.

Az elmúlt két évtizedben különböző 'high-throughput' (nagy áteresztőképességű) technikákat fejlesztettek ki, melyeket a búzanemesítésben, genetikai analízisben és modell készítésében használnak a szárazság- és hőtolerancia vizsgálatára. A 'high-throughput' fenotipizálási rendszerekben lehetőség van olyan kísérletek beállítására, ahol a kontroll környezet vetéstől kezdve optimális vízellátottságú. A szárazságtűrés komplex jellege miatt ez az adatok egzakt összehasonlítására ad lehetőséget.

A közvetett tulajdonságok csoportjába tartozik a levelek klorofilltartalmának mérése, mely tulajdonképpen indikátorként működve mutatja meg a növényi szövetek fotoszintetikus képességét. Kísérletünkben kimutattuk, hogy a szenescencia üteme különösen érzékeny a szárazság és hőstresszre, genetikai variabilitását pedig számos tanulmányban leírták. Vannak olyan genotípusok, amelyeknél a zászlólevél fotoszintetikus aktivitásának fenntartása szárazságstressz esetén nagyobb termésmennyiségben realizálódik a tenyészidőszak végére, mely elsősorban a szemekben elraktározható, megnövekedett szénhidrát tartalom következménye. Az eredmények azt mutatják, hogy a 'stay-green' hatékony szárazságtűrési tulajdonság lehet a virágzás utáni időszakban, így azok a genotípusok, amelyek a szemtelítődés időszakában zölden tudják tartani leveleiket az elégtelen vízellátottság ellenére, potenciális jelöltek lehetnek a nemesítésben. Ez alatt nem azt értjük, hogy későn érő fajtákat keresünk, hanem olyan genotípusokat, amelyek asszimiláta produktivitása az aktív vegetációs felületüknek köszönhetően, a szemtelítődési idő aszályos szakaszában sem szűnik meg. A hosszabb ideig 'zölden maradó' genotípusok kiválasztása reflexiós spektrális információjuk alapján részét képezheti 'high-throughput' fenotipizálási rendszerek mérési módszereinek. A közvetett klorofilltartalom, illetve fényvisszaverő képesség érzékelési technikák lehetővé teszik nagyszámú genotípus egységes vizsgálatát több-termőhelyes kísérletekben, melynek eredményeként részletes fenotípusos adathalmazzal rendelkezhetünk. Ez azért is fontos, mert a molekuláris nemesítés és genomszelekció nagy hangsúlyt helyez a genetikai információra, viszont a nagyszámú és megbízható fenotípusos



adatok hozzákapcsolása elengedhetetlen a genetikai elemzésekhez. A szárazságtűrésre történő nemesítési erőfeszítéseknek tehát figyelembe kell vennie ezeknek a közvetett tulajdonságoknak a hozamra-kedvező alléljaik azonosítását és átvitelét más genotípusokba. A jövőben érdemes megvizsgálni a kiemelkedő szárazságtűrő fajták esetén az 5%-nál kisebb gyakorisággal előforduló minor allélok hatását is, hiszen az egyedi allélkombinációk vagy alléltípusok kapcsolatban lehetnek a jó stressztűrő képességgel. E törekvés segítheti, hogy a genetikai térképezés szignifikánsan hozzájáruljon olyan markerek azonosításához, amelyek különböző agronómiailag fontos tulajdonságokat irányító gének közelében helyezkednek el. Optimális GWAS modell kialakítása, mely figyelembe veszi az elemzés során fellépő torzító faktorokat, alapvető fontosságú. Több évjáratban, több termőhelyen beállított kísérletekben célunk a marker-tulajdonság kapcsolat és QTL-régió azonosítása, azonban az összetett jellegek vizsgálatának sikere még nagyon kicsi. Ezt az is indokolja, hogy egyetlen egy GWAS modell nem lehet ugyanolyan hatékony a valós kapcsolatok azonosításában különböző tulajdonságok esetén, mivel a populáció struktúrája nem biztos, hogy ugyanazzal a hatással bír a vizsgált különböző agronómiai és fiziológiai paraméterekre. Kísérletünk során a tulajdonságokat jellemző kromoszóma régiók főleg egyedi környezetben jelentek meg. Feltételezésünk szerint azonban lehetséges, hogy az adott régióknak valós hatásai vannak más környezetekben is, melyek a több termőhelyes kísérletek beállításával és a statisztikai elemzések finomításával kimutathatóvá válhatnak a jövőben. Ezért az SNP-tulajdonság kapcsolatok szignifikáns szintű azonosításához a QTL x környezet és a QTL x QTL kölcsönhatások részletes vizsgálata szükséges. Az eredményeinkből arra következtethetünk, hogy az 1B, 3B és 5A kromoszómán -a szárazság és hőstresszel összefüggésben lévő- QTL régiók több fontos gént tartalmaznak, vagy pedig olyan gént/géneket, melyek pleiotróp hatásúak. A jövőben a termés hozamot befolyásoló QTL régiók pozicionális klónozásával, a 3B kromoszóma szegmens génjeinek annotációjával (<http://www.wheatgenome.org/content/view/full/407>) pontosabb információt nyerhetünk a stressztűrésben szerepet játszó génekről és sorrendjükéről. KK<sub>2BL</sub>KK<sub>3BS</sub> allél-kombinációjú törzsek jobb termésstabilitása is azt mutatja, hogy érdemes a QYld.idw-2B és QYld.idw-3B QTL-régiók hozamfokozásában betöltött szerepét tovább vizsgálni. A poliaminok és terméskomponensek közötti szignifikáns, pozitív kapcsolat pontos megismeréséhez pedig a zászlóslevél fiziológiájának és génexpressziójának meghatározása szükséges.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk célja olyan morfológiai, fiziológiai, biokémiai és terméshiológiai tulajdonságok azonosítása volt, melyek elégtelen vízellátottság esetén is szoros kapcsolatot mutatnak a magasabb terméshozammal. Ennek érdekében Martonvásáron a 2011-2014 közötti években, öntözött és természetes csapadékellátottságú szántóföldi kísérletekben, valamint esősátor alatt 188 eltérő genetikai háttérű tavaszi durumbúza genotípus és nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs elvetésével tanulmányoztuk azon növényi tulajdonságokat, amelyek hozzájárulhatnak a szárazságtűrés növeléséhez. A többéves szántóföldi kísérlet során fontos szempontnak tekintettük a genotípusok azonos termőhelyi elhelyezését, mellyel csökkenteni tudtuk a környezet (talaj) hatását.

Eredményeink igazolták, hogy a vizsgált tulajdonságokra az évjárat és a kezelés befolyásoló hatása volt a legnagyobb, még a magas ismételhetségi ( $h^2$ ) értéksszámmal rendelkező paraméterek esetén is. Kivételt képezett ez alól az ezerszem-tömeg, melynél a három év eredménye szárazságstressz esetén is ennek a tulajdonságnak a nagy stabilitását mutatta. Megállapítottuk, hogy elégtelen vízellátottság esetén a magasabb terméshozam elérésére azok a növények voltak képesek, melyek több termékeny oldalhajtással és a zászlóslevelek hosszabb vegetációs aktivitásával rendelkeztek. A korai viaszérés stádiumában (Z83) mért SPAD, NDVI értékek és a terméshozam szignifikáns pozitív korrelációja mutatta, hogy aszályos körülmények között ebben a fenofázisban található olyan genotípusokat, melyek szenescenciája késleltetett és ez magasabb terméshozamban realizálódik. Az elemzések során sikerült olyan fajtát azonosítanunk ('Cham-1'), amely szárazságstressz alatt is fent tudta tartani vegetációs aktivitásának stabilitását évről évre, s így nagyobb teljesítményre volt képes.

Célul tűztük ki szárazságtűrésért felelős lokuszok azonosítását asszociációs térképezés segítségével. A 188 fajtát jellemző SNP térkép felhasználásával elvégeztük az asszociációs panel populáció struktúrájának vizsgálatát, valamint a hozamhoz, kalászolási időhöz, morfológiai és fiziológiai tulajdonságokhoz kapcsolható QTL régiók azonosítását különböző vízellátottság esetén. Számos olyan marker-csoport régiót találtunk, amelyek egyedi környezetben, évjárattól vagy kezeléstől függetlenül voltak szignifikáns szinten kimutathatóak. Munkánk során két olyan kromoszóma régiót azonosítottunk, ahol a klorofilltartalom és a kalászolási idő

QTL-jei együtt kapcsolódott (1B, 5A), az 5A kromoszóma esetén pedig a kimutatott régióhoz a termés hozam QTL-je is kötődött.

Vizsgáltuk a QYld.idw-3B QTL régió termés hozamra kifejtett hatását, a 3B kromoszómán elhelyezkedő *QYld.idw* termőképességért felelős lokuszra nézve különböző szülői alléllal rendelkező közel izogén tavaszi durumbúza törzsekben. A *QYld.idw-3B<sup>++</sup>* izogén törzsekben az átlagos klorofilltartalom szignifikánsan magasabb értékét detektáltunk a Z77, Z83 és Z85 fejlődési stádiumokban, a *QYld.idw-3B<sup>--</sup>* törzsek öntözött és öntözetlen kezelésben is alacsonyabb klorofilltartalommal rendelkeztek. Közepes erősségű szárazságstressz esetén korai viaszérés során (Z83) alakult ki a NIL<sup>++</sup> és NIL<sup>--</sup> izogén párok közötti különbség. Ez jelezte, hogy a vizsgált QTL-régió hosszabb perióduson át tudta fenntartani a zászlóslevelek fotoszintetikus aktivitását, s így az magasabb szemszámban és szemtömegben realizálódott a tenyészidőszak végén. Ebből arra következtethetünk, hogy tavaszi vetésben a *QYld.idw-3B<sup>++</sup>* törzsek magasabb hozama a 3B kromoszómán lévő 'Kofa' QTL pozitív hatásának volt köszönhető.

Kerestük a választ arra, hogy a közel izogén tavaszi durumbúza törzsek zászlóslevél poliamin tartalma és antioxidáns enzim aktivitása, valamint a termés hozam között van-e kapcsolat szárazságstressz során. Kimutattuk a vizsgált stresszvédő vegyületek mennyiségének és aktivitásának szignifikáns változását elégtelen vízellátottság hatására szántóföldi körülmények között. Igazoltuk az aszkorbát-peroxidáz és gvajakol-peroxidáz enzimek aktivitásának negatív korrelációját számos terméskomponenssel, valamint a poliamin tartalom és a főkalász szemszáma/szemtömege közötti szignifikáns, pozitív korrelációt. Ezek az eredmények szántóföldön is alátámasztották a vizsgált vegyületek stresszválaszban betöltött szerepét.

Az eredményeink azt mutatják, hogy a morfológiai, fiziológiai, biokémiai és termésbiológiai tulajdonságok fenotipizálása hatékony út lehet a vízhiánynak fokozottan ellenálló genotípusok azonosításában. A szárazságtűrés azonban mennyiségi tulajdonság, sok kihatású gén/QTL szabályozta komplex fenotípusos jelleg, így vizsgálata és értékelése bonyolult. A stresszválasz összetett és eltérő szabályozási mechanizmusai következtében a genotípusok szántóföldi, többéves, több termőhelyes fenotipizálására van szükség. A kísérleti munka sikerének legfontosabb alapkövei: a jól meghatározott, objektíven mérhető tulajdonság, a megfelelő statisztikai modell és a validálás eredményessége.

## 7. SUMMARY

The aim of the work was to identify morphological, physiological, biochemical and yield biological traits exhibiting a close relationship with higher yields even when water supplies are less than satisfactory. For this purpose a total of 188 spring durum wheat genotypes with diverse genetic backgrounds and eight near-isogenic lines of spring durum wheat were sown in field experiments under irrigated and rainfed conditions or under a rain shelter in Martonvásár between 2011 and 2014 in order to investigate which plant traits contribute to an increase in drought tolerance. In the course of the field experiment the individual genotypes were sown on the same plot each year so as to reduce the effect of the environment (soil).

The results proved that the year and the treatment had the greatest effect on the traits tested, even in the case of parameters that have a high heritability ( $h^2$ ) index. The only exception was the thousand-kernel weight, which was shown by the three-year data to have great stability even when exposed to drought stress. It was demonstrated that only plants with a larger number of fertile tillers and with flag-leaves having a longer period of photosynthetic activity were able to produce higher yields even with poor water supplies. The significant positive correlation found between the SPAD and NDVI values recorded in the early stage of waxy ripeness (Z83) and the yield showed that some genotypes have delayed senescence in this phenophase under drought conditions, which is manifested in the form of higher yields. The analyses led to the identification of a cultivar ('Cham-1') that was able to maintain stable photosynthetic activity during drought stress in all the years, thus giving better performance.

Association mapping was used to identify loci responsible for drought tolerance. With the help of the SNP map characterising the 188 cultivars, the population structure of the association panel was analysed, and QTL regions linked with yield, heading date and morphological or physiological traits were identified for different water supply levels. Numerous marker-group regions were found to be significant in specific environments, as a function of year or treatment. In the course of the work, two chromosome regions were identified where QTLs for chlorophyll content and heading date were linked (1B, 5A), and in the case of the 5A chromosome the yield QTL was also linked with the identified region.

The effect of the *QYld.idw-3B* QTL region on the yield was analysed in near-isogenic lines of spring durum wheat carrying different parental alleles at the *QYld.idw* locus on the 3B chromosome, which is responsible for yield potential. A significantly higher mean chlorophyll content was detected in the *QYld.idw-3B++* isogenic lines in development stages Z77, Z83 and Z85, while the *QYld.idw-3B--* lines had lower chlorophyll content in both irrigated and non-irrigated treatments. In the case of moderate drought stress the difference between the NIL++ and NIL-- pairs became noticeable in the early waxy ripeness stage (Z83), indicating that the QTL region in question was able to maintain the photosynthetic activity of the flag-leaf for a considerable period, which was then manifested in the form of higher grain number and grain weight at the end of the growing period. It can thus be concluded that the higher yield recorded for *QYld.idw-3B++* lines sown in spring could be attributed to the positive effect of the 'Kofa' QTL on the 3B chromosome.

Investigations were also made to determine whether there was any correlation between the polyamine content and antioxidant enzyme activity of the flag-leaf in near-isogenic spring durum wheat lines and the yield in the case of drought stress. Significant changes were detected in the quantity and activity of these protective compounds in response to deficient water supplies under field conditions. The activity of the ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase enzymes was found to be negatively correlated with numerous yield components, while a significant positive correlation was demonstrated between the polyamine content and the grain number/grain weight of the main spike. The results provided proof that these compounds also play a role in the stress response in the field.

The results suggest that the phenotyping of morphological, physiological, biochemical and yield biological traits could be an efficient way of identifying genotypes with better resistance to water deficit. Drought tolerance, however, is a quantitative trait, a complex phenotypic property regulated by numerous minor genes/QTLs, so it is difficult to examine and evaluate. Due to the complex, diverse regulation mechanisms of the stress response, the genotypes need to be phenotyped in multi-location field trials over many years. The most important criteria for success are a clearly defined trait that can be objectively measured, a satisfactory statistical model and successful validation.

## 8. MELLÉKLETEK

### M1. Irodalomjegyzék

- ADAMSEN, F.G., PINTER, P.J., BARNES, E.M., LAMORTE, R.L., WALL, G.W., LEAVITT, S.W., KIMBALL, B.A. (1999): Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science*, 39 719-724.
- ADU, M.O., SPARKES, D.L., PARMAR, A., YAWSON, D.O. (2011): 'Stay green' in wheat: Comparative study of modern bread wheat and ancient wheat cultivars. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 6 (9) 16-24.
- ALAEI, M., FARBOODI, M., KHORSHIDI, M.B., ZAEIFIZADEH, M. (2010): Durum wheat land race screening for drought tolerance. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 63 289-292.
- ALCÁZAR, R., MARCO, F., CUEVAS, J.C., PATRON, M., FERRANDO, A., CARRASCO, P., TIBURCIO, A.F., ALTABELLA, T. (2006): Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters*, 28 1867-1876.
- ALEXANDERSSON, E., FRAYSEE, L., SJÖVALL-LARSEN, S., GUSTAVSSON, S., FELLERT, M., KARLSSON, M., JOHANSON, U., KJELLBOM, P. (2005): Whole gene family expression and drought stress regulation of aquaporins. *Plant Molecular Biology*, 59 469-484.
- ALI, G.M., KOMATSU, S. (2006): Proteomic analysis of rice leaf sheath during drought stress. *Journal of Proteome Research*, 5 (2) 396-403.
- ALVAREZ, S., CHOUDHURY, R.S., PANDEY, S. (2014): Comparative quantitative proteomics analysis of the ABA response of roots of drought-sensitive and drought-tolerant wheat varieties identifies proteomic signatures of drought adaptability. *Journal of Proteome Research*, 13 (3) 1688-1701.
- AMINZADEH, G.R. (2010): Evaluation of seed yield stability of wheat advanced genotypes in Ardabil, Iran. *Res. J. Environ. Sci.*, 4 478-482.
- APARICIO, N., VILLEGAS, D., CASADESUS, J., ARAUS, J.L., ROYO, C. (2000): Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92 83-91.
- APRILE, A., MASTRANGELO, M., LEONARDIS, A.M., GALIBA, G., RONCAGLIA, E., FERRARI, F., DE BELLIS, L., TURCHI, L., GIULIANO, G., CATTIVELLI, L. (2009): Transcriptional profiling in response to terminal drought stress reveals differential responses along the wheat genome. *BMC Genomics*, 10 279.
- ARAUS, J.L., FERRIO, J.P., BUXO, R., VOLTAS, J. (2007): The historical perspective of dryland agriculture: lessons learned from 10 000 years of wheat cultivation. *Journal of Experimental Botany*, 58 131-145.
- ARAUS, J.L., SLAFER G.A., REYNOLDS M.P. & ROYO C. (2002): Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, 89 925-940.
- ARAUS, J. L., VILLEGAS, D., APARICIO, N., DEL MORAL, L.F., EL HANI, S., RHARRABTI, J. P. FERRIO, J.P., ROYOET, C. (2003): Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Science*, 43 170-180.
- ARAUS, J.L., CAIRNS, J.E. (2014): Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science*, 19 (1) 52-61.
- ARISNABARRETA, S., MIRALLES, DJ. (2008): Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107 196-202.

- ARJENAKI, F.G., JABBARI, R., MORSHEDI, A. (2012): Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4 (11) 726-729.
- ASADA, K. (1992): Ascorbate peroxidase - A hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol Plantarum*, 85 235-241.
- ATWELL, S., HUANG, Y.S., VILHJALMSSON, B.J., WILLEMS, G., HORTON, M., LI, Y., MENG, D., PLATT, A., TARONE, A.M., HU, T.T. et al. (2010): Genome-wide association study of 107 phenotypes in *Arabidopsis thaliana* inbred lines. *Nature*, 465 (7298) 627-631.
- AYAL, S., OPHIR, R., LEVY, A.A. (2005): Genomics of tetraploid wheat domestication. The 100th Memorial Issue of Wheat Information Service, *Frontiers of Wheat Bioscience*, 185-203.
- BABAR, M.A., REYNOLDS, M.P., VAN GINKEL, M., KLATT, A.R., RAUN, W. R., STONE, M.L. (2006): Spectral reflectance to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll, and canopy temperature in wheat. *Crop Science*, 46 1046-1057.
- BAI, G., DAS, M.K., CARVER, B.F., XU, X., KRENZER, G.E. (2004): Covariation for Microsatellite Marker Alleles Associated with Rht8 and Coleoptile Length in Winter Wheat. *Crop Science*, 44 1187-1194.
- BALLA, K., RAKSZEGI, M., LI, Z., BÉKÉS, F., BENCZE, SZ., VEISZ O. (2011): Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech Journal of Food Sciences*, 29 (2) 117-128.
- BALLA, K., BENCZE, SZ., BÓNIS, P., ÁRENDÁS, T., VEISZ O. (2014): Changes in the photosynthetic efficiency of winter wheat in response to abiotic stress. *Central European Journal of Biology*, 9 (5) 519-530.
- BÁNYAI, J., LÁNG, L. (2014): Hogyan jellemezhetjük 'NDVI'-vel a zöld növényi felületet? *Martonvásár, Az MTA Agrártudományi Kutatóintézet Közleményei*, XXVI. (1) 16-17.
- BÁNYAI, J., LÁNG, É.J., BOGNÁR, Z., KUTI, C., SPITKÓ, T., LÁNG, L., BEDŐ, Z. (2012): Changes in the yield components of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) during irrigation controlled by soil sensors. *Acta Agronomica Hungarica*, 60 309-317.
- BARBER, H.M., CARNEY, J., ALGHABARI, F., GOODING, M.J. (2015): Decimal growth stages for precision wheat production in changing environments? *Annals of Applied Biology*, 166 355-371.
- BARNABÁS, B., FEHÉR, A. (2006): Az embriófejlődés és a szemfeltöltődés molekuláris folyamatai a vízhiányban. *A búza nemesítésének tudománya*, Szeged, 180-190.
- BARNABÁS, B., JÄGER, K., FEHÉR, A. (2008): The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31 11-38.
- BARROW, E.M., HULME, M. (1996): Changing probabilities of daily temperature extremes in the UK related to future global warming and changes in climate variability. *Climate Research*, 6 21-31.
- BARTELS, D., SUNKAR, R. (2005): Drought and salt tolerance in plants. *Plant Science*, 24 23-58.
- BATES, B.C, KUNDZEWICZ, Z.W, WU, S., PALUTIKOF, J.P. (2008): Climate change and water. *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- BATTISTI, D.S., NAYLOR, R.L. (2009): Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323 (5911) 240-244. p.

- BEDŐ, Z., LÁNG, L., RAKSZEGI, M. (2007): Géntechnológia a növénynevelés eszköztárában. *Magyar Tudomány*, 4 418.
- BEDŐ, Z., LÁNG, L., VIDA, GY., RAKSZEGI, M. (2014): Molekuláris nevelési megoldások a búzakutatásban. *Magyar Tudomány*, 10 1164.
- BENNETT, D., REYNOLDS, M., MULLAN, D., IZANLOO, A., KUCHEL, H., LANGRIDGE, P., SCHNURBUSCH, T. (2012): Detection of two major grain yield QTL in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under heat, drought and high yield potential environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 125 (7) 1473-1485.
- BISWAL, A.K., KOHLI, A. (2013): Cereal flag leaf adaptations for grain yield under drought: knowledge status and gaps. *Molecular Breeding*, 31 749-766.
- BLUM, A., GOZLAN, G., MAYER, J. (1981): The Manifestation of Dehydration Avoidance in Wheat Breeding Germplasm. *Crop Science*, 21 495-499.
- BLUM, A. (2005): Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56 1159-1168.
- BOGARD, M., JOURDAN, M., ALLARD, V., MARTRE, P., PERRETANT, M.R., RAVEL, C., HEUMEZ, E., ORFORD, S., SNAPE, J., GRIFFITHS, S., GAJU, O., FOULKES, J., LE GOUIS, J. (2011): Anthesis date mainly explained correlations between post-anthesis leaf senescence, grain yield, and grain protein concentration in a winter wheat population segregating for flowering time QTLs. *Journal of Experimental Botany*, 62 3621-3636.
- BOGARD M., PIERRE J.B., HUGUENIN-BIZOT B., HOURCADE D., PAUX E., LE BRIS X., GOUACHE D. (2015): A simple approach to predict growth stages in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) combining prediction of a crop model and marker based prediction of the deviation to a reference cultivar: A case study in France. *European Journal of Agronomy*, 68: 57-68.
- BONIFACIO, A., MARTINS, M.O., RIBEIRO, C.W., FONTENELE, A.V., CARVALHO, F.E., MARGIS-PINHEIRO, M., SILVEIRA, J.A. (2011): Role of peroxidases in the compensation of cytosolic ascorbate peroxidase knockdown in rice plants under abiotic stress. *Plant, Cell and Environment*, 34 1705-1722.
- BONNEAU, J., TAYLOR J, PARENT B, BENNETT D, REYNOLDS M, FEUILLET C, LANGRIDGE P, MATHER D. (2013): Multi-environment analysis and improved mapping of a yield-related QTL on chromosome 3B of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 126 (3) 747-761.
- BORRELL, A.K., VAN OOSTEROM, E.J., MULLET, J.E., GEORGE-JAEGGLI, B., JORDAN, D.R., KLEIN, P.E., HAMMER, G.L. (2014): Stay-green alleles individually enhance grain yield in sorghum under drought by modifying canopy development and water uptake patterns. *New Phytologist*, 203: 817-830.
- BOUAZIZ, A., HICKS, D.R. (1990): Consumption of wheat seed reserves during germination and early growth as affected by soil water potential. *Plant and Soil*, 128 161-165.
- BRAUN, H.J., RAJARAM, S., VAN GINKEL, M. (1996): CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. *Euphytica*, 92 175-183.
- BRAUN, H.J., ATLIN, G., PAYNE, T. (2010): Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. Reynolds MP. Climate change and crop production. *CABI, Wallingford*, 115-138.
- BRAY, E.A. (2002): Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. *Annals of Botany*, 89 803-811.
- BRESEGHELLO, F., SORRELLS, M.E. (2006a): Association analysis as a strategy for improvement of quantitative traits in plants. *Crop Science*, 46 1323-1330.



- BRESEGHELLO, F., SORRELLS, M.E. (2006b): Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Genetics*, 172 1165-1177.
- BUDAK, H., KANTAR, M., KURTOGLU, K.Y. (2013): Drought tolerance in modern and wild wheat. *Scientific World Journal*, 16.
- BUTLER, J.D., BYRNE, P.F., MOHAMMADI, V., CHAPMAN, P.L., HALEY, S.D. (2005): Agronomic performance of alleles in a spring wheat population across a range of moisture levels. *Crop Science*, 45 939-947.
- CAO, W.D., JIA, J.Z., JIN, J.Y. (2004): Identification and interaction analysis of QTL for chlorophyll content in wheat seedlings. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, (10) 473-478.
- CAPELL, T., BASSIE, L., CHRISTOU, P. (2004): Modulation of the poly-amine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101 9909-9914.
- CAVANAGH, C.R., CHAO, S., WANG, S., HUANG, B.E., STEPHEN, S., KIANI, S., FORREST, K., SAINTENAC, C., BROWN-GUEDIRA, G.L., AKHUNOVA, A., et al. (2013): Genome-wide comparative diversity uncovers multiple targets of selection for improvement in hexaploid wheat landraces and cultivars. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 8057-8062.
- CAVERZAN, A., CASASSOLA, A., BRAMMER, S.P. (2016): Antioxidant responses of wheat plants under stress. *Genetics and Molecular Biology*, 39 (1) 1-6.
- CAVERZAN, A., PASSAIA, G., ROSA, S.B., RIBEIRO, C.W., LAZZAROTTO, F., MARGIS-PINHEIRO, M. (2012): Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. *Genetics and Molecular Biology*, 35 1011-1019.
- CAVERZAN, C., BONIFACIO, A., CARVALHO, F.E.L., ANDRADE, C.M.B., PASSAIA, G., SCHÜNEMANN, M., MARASCHIN, F.S., MARTINS, M.O., TEIXEIRA, F.K., RAUBER, R., MARGIS, R., SILVEIRA, J.A. G., MARGIS-PINHEIRO, M. (2014): The knockdown of chloroplastic ascorbate peroxidases reveals its regulatory role in the photosynthesis and protection under photo-oxidative stress in rice. *Plant Sciences*, 214 74-87.
- CHACHAR, M.H., CHACHAR, N.A., CHACHAR, Q., MUJTABA, S.M., CHACHAR, S., CHACHAR, Z. (2016): Physiological characterization of six wheat genotypes for drought tolerance. *International Journal of Research –Granthaalayah*, 4 (2) 184-196.
- CHAKRABORTY, U., PRADHAN, B. (2012): Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24 117-130.
- CHAVES, M.M., MAROCO, J.P., PEREIRA, J.S. (2003): Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30 239-264.
- CHEN, Y., HAN, Y., ZHANG, M., ZHOU, S., KONG, X., WANG, W. (2016): Overexpression of the wheat expansin gene TaEXPA2 improved seed production and drought tolerance in transgenic Tobacco plants. *PLoS ONE*, 11 (4): e0153494. doi:10.1371/journal.pone.0153494.
- CHENU, K., COOPER, M., HAMMER, G.L., MATHEWS, K.L., DRECCER, M.F., CHAPMAN, S.C. (2011): Environment characterization as an aid to wheat improvement: interpreting genotype–environment interactions by modelling water-deficit patterns in North-Eastern Australia. *Journal of Experimental Botany*, 62 (6) 1743-1755.

- CHRISTOPHER, J.T., MANSCHADI, A.M., HAMMER, G.L., BORRELL, A.K. (2008): Developmental and physiological traits associated with high yield and stay-green phenotype in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59 354-364.
- CLAEYS, H., INZÉ, D. (2013): The agony of choice: How plants balance growth and survival under water-limiting conditions. *Plant Physiology*, 162 1768-1779.
- COLLARD, B.C.Y., JAHUFER, M.Z.Z., BROUWER, J.B., PANG, E.C.K. (2005): An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica*, 142 169-196.
- COOK, J.P., MCMULLEN, M.D., HOLLAND, J.B., TIAN, F., BRADBURY, P., ROSS-IBARRA, J., BUCKLER, E.S., FLINT-GARCIA, S.A. (2012): Genetic architecture of maize kernel composition in the nested association mapping and inbred association panels. *Plant Physiology*, 158 824-834.
- CORMIER, F., GOUIS, J.L., DUBREUIL, P., LAFARGE, S., PRAUD, S. (2014): A genome-wide identification of chromosomal regions determining nitrogen use efficiency components in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Theoretical and Applied Genetics*, 127 (12) 2679-2693.
- COSSANI, C.M., REYNOLDS, M.P. (2012): Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiology*, 160 1710-1718.
- CRUZ-AGUADO, J.A., RODÉS, R., PÉREZ, J.P., DORADO, M. (2000): Morphological characteristics and yield components associated with accumulation and loss of dry matter in internodes of wheat. *Field Crops Research*, 66 129-139.
- CSEUZ, L., MATUZ, J. (2013): Kenyérgabona fajták nemesítésének céljai és eredményei Szegeden. *Agrofórum Extra*, 50 20-24.
- CZYCZYŁO-MYSZA, I., MARCINSKA, I., SKRZYPEK, E., CHRUPEK, M., GRZESIAK, S., HURA, T., STOJAŁOWSKI, S., MYSKOW, B., MILCZARSKI, P., QUARRIE, S., S. (2011): Mapping QTLs for yield components and chlorophyll a fluorescence parameters in wheat under three levels of water availability. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 9 (2) 291-295.
- DACOSTA, M., HUANG, B. (2007): Changes in antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation for bentgrass species in response to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132 319-326.
- DANNA, C.H., BARTOLI, C.G., SACCO, F., INGALA, L.R., SANTA-MARIA, G.E., GUIAMET, J.J., UGALDE, R.A. (2003): Thylakoid-bound ascorbate peroxidase mutant exhibits impaired electron transport and photosynthetic activity. *Plant Physiology*, 132 2116-2125.
- DEL MORAL, L.F., MIRALLES, D.J., SLAFER, G., (2002): Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures throughout barley development. In: Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L., Romagosa, I. (Eds.), *Barley Science: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality*. *Food Product Press*, 243-267.
- DEL MORAL, L. G., RHARRABTI, Y., VILLEGAS, D., ROYO, C. (2003): Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95 266-274.
- DENCIC, S., KASTORI, R., KOBILJSKI, B., DUGGAN, B. (2000): Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 113 43-52.
- DERKX, A., ORFORD, S., GRIFFITHS, S., FOULKES, J., HAWKESFORD, M.J. (2012): Identification of differentially senescing mutants of wheat and impacts on yield, biomass and nitrogen partitioning. *Journal of Integrative Plant Biology*, 54 555-566.

- DIXIT, S., SINGH, A., KUMAR, A. (2014): Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. *International Journal of Agronomy*, 2014 1-15.
- DOBOS, A., VÍG, R., NAGY, J., KOVÁCS, K. (2012): Evaluation of the correlation between weather parameters and the normalized difference vegetation index determined with a field measurement method. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 116 (1) 65-75.
- DODIG, D., ZORAE, M., KANDIAE, V., PEROVIAE, D., ŠURLAN-MOMIROVIAE, G. (2012): Comparison of responses to drought stress of 100wheat accessions and landraces to identify opportunities for improving wheat drought resistance. *Plant Breeding*, 131 369-379.
- DODIG, D., SAVIC, J., KANDIC, V., ZORIC, M., RADOVIC, B.V., POPOVIC, A., QUARRIE, S. (2015): Responses of wheat plants under post-anthesis stress induced by defoliation: I. Contribution of agro-physiological traits to grain yield. *Experimental Agriculture*, 1-21. doi: 10.1017/S0014479715000034.
- DÓKA, L.F. (2011): Szélsőséges évjáratok vízháztartásának vizsgálata kukoricaállományban. *Növénytermelés*, 60 (2) 31-44.
- DOMÍNGUEZ, J.A., KUMHÁLOVÁ, J., NOVÁK, P. (2015): Winter oilseed rape and winter wheat growth prediction using remote sensing methods. *Plant Soil and Environment*, 61 (9) 410-416.
- DRECCER, M.F., WOCKNER, K.B., PALTA, J.A., MCINTYRE, C.L., BORGOGNONE, M. G., BOURGAULT, M., REYNOLDS, M., MIRALLES, D.J. (2014): More fertile florets and grains per spike can be achieved at higher temperature in wheat lines with high spike biomass and sugar content at booting. *Functional Plant Biology*, 41 482-495.
- DU, Z.Y., CHEN, M.X., CHEN, Q.F., XIAO, S., CHYE, M.L. (2013): Overexpression of Arabidopsis acyl-CoA-binding protein ACBP2 enhances drought tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 36 300-314.
- DUDITS, D. (2003): A génkutatás-genomika szerepvállalása a növények nemesítésében. *Magyar Tudomány*, 10 1263.
- DUDITS, D. (2014): Az agrárium jelenét, jövőjét formáló molekuláris növénybiológia és zöld biotechnológia. *Magyar Tudomány*, 10 1176.
- DULAI, S., MOLNÁR, I., SZOPKÓ, D., DARKÓ, É., VOJTKÓ, A., SASS-GYARMATI, A., MOLNÁR-LÁNG, M. (2014): Wheat-Aegilops biuncialis amphiploids have efficient photosynthesis and biomass production during osmotic stress. *Journal of Plant Physiology*, 171 509-517.
- EDAE, E.A., BYRNE, P.F., HALEY, S.D., LOPES, M.S., REYNOLDS, M.P. (2014): Genome-wide association mapping of yield and yield components of spring wheat under contrasting moisture regimes. *Theoretical and Applied Genetics*, 127 791-807.
- EDAE, E.A., BYRNE, P.F., MANMATHAN, H., HALEY, S.D., MORAGUES, M., LOPES, M.S., REYNOLDS, M.P. (2013): Association mapping and nucleotide sequence variation in five drought tolerance candidate genes in spring wheat. *The Plant Genome*, 6 (2) 1-13.
- EEUWIJK F.A., MARCOS, M., YIN X., STRUIK P.C., STAM P. (2005): Statistical models for genotype by environment data: from conventional ANOVA models to eco-physiological QTL models. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56 1-12.
- EHDAIE, B., ALLOUSH, G.A., MADORE, M.A., WAINES, J.G. (2006): Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*, 46 735-746.

- EHDAIE, B., WHITKUS, R.W., WAINES, J.G. (2003): Root biomass, water-use efficiency, and performance of wheat-rye translocations of chromosomes 1 and 2 in spring bread wheat 'Pavon'. *Crop Science*, 43 710-717.
- EL-HENDAWY, S., AL-SUHAIBANI, N., SALEM, A.A., UR REHMAN, S., SCHMIDHALTER, U. (2015): Spectral reflectance indices as a rapid and nondestructive phenotyping tool for estimating different morphophysiological traits of contrasting spring wheat germplasms under arid conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39 572-587.
- FALQUETO, A.R., CASSOL, D., DE MAGALHÃES JÚNIOR, M.A., DE OLIVEIRA, A.C., BACARIN, M.A. (2009): Physiological analysis of leaf senescence of two rice cultivars with different yield potential. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44 (7) 695-700.
- FELDMAN, M., LEVY, A.A. (2012): Genome evolution due to allopolyploidization in wheat. *Genetics*, 192 763-774.
- FERRANTE, A., SAVIN, R., SLAFER, G.A. (2010): Floret development of durum wheat in response to nitrogen availability. *Journal of Experimental Botany*, 61 (15) 4351-4359.
- FERRANTE, A., SAVIN, R., SLAFER, G.A. (2013): Is floret primordia death triggered by floret development in durum wheat? *Journal of Experimental Botany*, 64 (10) 2859-2869.
- FEUILLET, C., LANGRIDGE, P., WAUGH, R. (2008): Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends Genet.*, 24 (1) 24-32.
- FISCHER, A., FELLER, U. (1994): Senescence and protein degradation in leaf segments of young winter wheat: influence of leaf age. *Journal of Experimental Botany*, 45 103-109.
- FISCHER, K.S., FUKAI, S., KUMAR, A., LEUNG, H., JONGDEE, B. (2012): Field phenotyping strategies and breeding for adaptation of rice to drought. *Frontiers in Physiology*, 3 (282) 1-21.
- FLEURY, D., JEFFERIES, S., KUCHEL, H., LANGRIDGE, P. (2010): Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61 (12) 3211-3222.
- FLINT-GARCIA, S.A., THORNSBERRY, J.M., BLUCKER, E.S. (2003): Structure of linkage disequilibrium in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 54 357-374.
- FLINT, J., ESKIN, E. (2012): Genome-wide association studies in mice. *Nature Reviews Genetics*, 13 (11) 807-817.
- FOIS, S., MOTZO, R., GIUNTA, F. (2009): The effect of nitrogenous fertiliser application on leaf traits in durum wheat in relation to grain yield and development. *Field Crops Research*, 110 69-75.
- FOULKES, M.J., SYLVESTER-BRADLEY, R., WEIGHTMAN, R., SNAPE, J.W. (2007): Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Field Crops Research*, 103 11-24.
- FUKAI, S., PANTUWAN, G., JONGDEE, B., COOPER, M. (1999): Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. *Field Crop Research*, 64 61-74.
- GAJU, O., ALLARD, V., MARTRE, P., SNAPE, J.W., HEUMEZ, E., LEGOUIS, J., MOREAU, D., BOGARD, M., GRIFFITHS, S., ORFORD, S. (2011): Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research*, 123 139-152.
- GANAL, M.W., DURSTEWITZ, G., POLLEY, A., BÉRARD, A., BUCKLER, E.S., CHARCOSSE, A., CLARKE, J.D., GRANER, E-M., HANSEN, M., JOETS, J., LE PASLIER, M-C., MCMULLEN, M.D., MONTALENT, P., ROSE, M., SCHÖN, C-C., SUN, Q., WALTER, H., MARTIN, O.C., FALQUE, M. (2011): A large maize

- (*Zea mays* L.) SNP genotyping array: development and germplasm genotyping, and genetic mapping to compare with the B73 reference genome. *PLoS ONE*, 6.
- GARG, A.K., KIM, J.K., OWENS, T.G., RANWALA, A.P., CHOI, Y.D., KOCHIAN, L.V., WU, R.J. (2002): Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 15898-15903.
- GAO, X., FRANCIS, D., ORMROD, J.C., BENNETT, M.D. (1992): Changes in cell number and cell division activity during endosperm development in allohexaploid wheat, *Triticum aestivum* L. *Journal of Experimental Botany*, 43 1603-1609.
- GIOIA, T., NAGEL, K.A., BELEGGIA, R., FRAGASSO, M., FICCO, D.B.M., PIERUSCHKA, R., DE VITA, P., FIORANI, F., PAPA, R. (2015): Impact of domestication on the phenotypic architecture of durum wheat under contrasting nitrogen fertilization. *Journal of Experimental Botany*, 66 (18) 5519-5530.
- GIUNTA, F., MOTZO, R., DEIDDA, M. (1993): Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 33 (4) 399-409.
- GIZAW, S.A., GARLAND-CAMPBELL, K., CARTER, A.H. (2016): Evaluation of agronomic traits and spectral reflectance in Pacific Northwest winter wheat under rain-fed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 196 168-179.
- GORANTLA, M., BABU, P.R., LACHAGARI, V.B.R., FELTUS, F.A., PATERSON, A.H., REDDY, A.R. (2005): Functional genomics of drought stress response in rice: transcript mapping of annotated unigenes of an indica rice (*Oryza sativa* L. cv. Nagina 22). *Current Science*, 89 (3) 496-514.
- GOVINDARAJ, M., Vetriventhan, M., Srinivasan, M. (2015): Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. *Genetics Research International*, Hindawi Publishing Corporation, ID 431487.
- GREGERSEN P.L., HOLM P.B., KRUPINSKA K. (2008): Leaf senescence and nutrient remobilization in barley and wheat. *Plant Biology*, 10 37-49.
- GRIGOROVA, B., VASEVA, I., DEMIREVSKA, K., FELLER, U. (2011): Combined drought and heat stress in wheat: Changes in some heat shock proteins. *Biologia Plantarum*, 55 105-111.
- GROGAN, S.M., ANDERSON, J., BAENZIGER, P.S., FRELS, K., GUTTIERI, M.J., HALEY, S.D., KIM, K.S., LIU, S., MCMASTER, G.S., NEWELL, M., PRASAD, P.V.V., REID, S. D., SHROYER, K. J., ZHANG, G., AKHUNOV, E., BYRNE, P.F. (2016): Phenotypic plasticity of winter wheat heading date and grain yield across the US Great Plains. *Crop Science*, 56 1-14.
- GROPPA, M.D., BENAVIDES, M.P. (2008): Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34 35-45.
- GUENDOZ, A., DJOUDI, M., GUESSOUM, S., MAAMRI, K., FELLAHI, Z., HANNACHI, A., HAFSI, M. (2013): Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluation under semi arid conditions in eastern Algeria by path analysis. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 3 (2) 238-246.
- GUO, J., ZHANG, Y., SHI, W., ZHANG, B., ZHANG, J. XU, Y., CHENG, X., CHENG, K., ZHANG, X., HAO, C., CHENG, S. (2015): Association analysis of grain-setting rates in apical and basal spikelets in bread wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 6 1029.
- GUO, Z., SCHNURBUSCH, T. (2015): Variation of floret fertility in hexaploid wheat revealed by tiller removal. *Journal of Experimental Botany*, 66 (19) 5945-5958.
- GUPTA, P.K., RUSTGI, S., MIR, R.R. (2008): Array-based high-throughput DNA markers for crop improvement. *Heredity*, 101 5-18.

- HABASH, D.Z., KEHEL, Z., NACHIT, M. (2009): Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *Journal of Experimental Botany*, 60 (10) 2805-2815.
- HAJÓSNÉ N.M. (1999): Genetikai variabilitás a növénynevelésben. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 142.
- HAUSSMANN, B.I.G., RATTUNDE, H.F., WELTZIEN-RATTUNDE, E., TRAORÉ, P.S.C., BROCKE, K., PARZIES, H.K. (2012): Breeding strategies for adaptation of pearl millet and sorghum to climate variability and change in west Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198 327-339.
- HESZKY, L. (2012): Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? (2.). *Agrofórum*, 23 (11) 9-13.
- HINDORFF, L.A., SETHUPATHY, P., JUNKINS, H.A., RAMOS, E.M., MEHTA, J.P., COLLINS, F.S., MANOLIO, T.A. (2009): Potential etiologic and functional implications of genome-wide association loci for human diseases and traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (23) 9362-9367.
- HIREL, B., LE GOUIS, J., NEY, B., GALLAIS, A. (2007): The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58 2369-2387.
- HIRSCHHORN, J.N., DALY, M.J. (2005): Genome-wide association studies for common diseases and complex traits. *Nature Reviews Genetics*, 6 (2) 95-108.
- HOFFMANN, B. (2007): Alteration of drought tolerance of winter wheat caused by translocation of rye chromosome segment. *Cereal Research Communications*, 36 (2) 269-278.
- HOFFMANN, B., Aranyi, N.R., MOLNÁR-LÁNG, M.: (2011): Root development and drought tolerance of wheat-barley introgression lines. *Acta Biologica Szegediensis*, 55 (1) 81-82,
- HOUDE, M., BELCAID, M., OUELLET, F., DANYLUK, J., MONROY, A.F., DRYANOVA, A., GULICK, P., BERGERON, A., LAROCHE, A., LINKS, M.G., MACCARTHY, L., CROSBY, W.L., SARHAN, F. (2006): Wheat EST resources for functional genomics of abiotic stress. *BMC Genomics*, 7 149.
- HU, H., DAI, M., YAO, J., XIAO, B., LI, X., ZHANG, Q., XIONG, L. (2006): Overexpressing a NAM, ATAF, and CUC (NAC) transcription factor enhances drought resistance and salt tolerance in rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (35) 12987-12992.
- HUANG, X., ZHAO, Y., WEI, X., LI, C., WANG, A., ZHAO, Q., LI, W., GUO, Y., DENG, L., ZHU, C. ET AL. (2012): Genome-wide association study of flowering time and grain yield traits in a worldwide collection of rice germplasm. *Nature Genetics*, 44 (1) 32-39.
- HUFFORD, M.B., XU, X., HEERWAARDEN, J., PYHÄJÄRVI, T., CHIA, J.M., CARTWRIGHT, R.A., ELSHIRE, R.J., GLAUBITZ, J.C., GUILL, K.E., KAEPLER, S.M., ET AL. (2012): Comparative population genomics of maize domestication and improvement. *Nature Genetics*, 44 808-811.
- HURA, T., HURA, K., GRZESIAK, S. (2009): Physiological and biochemical parameters for identification of QTLs controlling the winter triticale drought tolerance at the seedling stage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 (3) 210-214.
- HUSEYNOVA, I.M. (2012): Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1817 1516-1523.
- HUSSAIN, S.S., KAYANI, M.A., AMJAD, M. (2011): Transcription factors as tools to engineer enhanced drought stress tolerance in plants. *Biotechnology Progress*, 27 (2) 297-306.

- IGARASHI, K., KASHIWAGI, K. (2000): Polyamines: Mysterious modulators of cellular functions. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 271 559-564.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): *Fourth Assessment Report: Synthesis*, 1-112.
- ISHIDA, H., MAKINO, A., MAE, T. (1999): Fragmentation of the large subunit of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase by reactive oxygen species occurs near Gly-329. *The Journal of Biological Chemistry*, 274 5222-5226.
- JÄGER, K., FÁBIÁN, A., BARNABÁS, B. (2008): Effect of water deficit and elevate temperature on pollen development of drought sensitive and tolerant winter wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Acta Biologica Szegediensis*, 52 67-71.
- JÄGER, K., FÁBIÁN, A., BARNABÁS, B. (2013): A tartós vízhiány és a magas hőmérséklet hatása a búza pollen életképességére. *Martonvásár*, 55 (2) 24-25.
- JANNINK, J. L., WALSH, J.B. (2002): Association mapping in plant populations. Kang, M.S. szerk.: *Quantitative Genetics Genomics and Plant Breeding*. CABI kiadó, Wallingford, UK, 59-68.
- JIANG, G.H., HE, Y.Q., XU, C.G., LI, X.H., ZHANG, Q. (2004): The genetic basis of stay-green in rice analyzed in a population of doubled haploid lines derived from an indica by japonica cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 108 688-698.
- JIANG, S.S., LIANG, X.N., LI, X., WANG, S.L., LV, D.W., MA, C.Y., LI, X.H., MA, W.J., YAN, Y.M. (2012): Wheat drought-responsive grain proteome analysis by linear and nonlinear 2-DE and MALDI-TOF mass spectrometry. *International Journal of Molecular Sciences*, 13 16065-16083.
- JONES, C.L., WECKLER, P.R., MANESS, N.O. (2007): Remote sensing to estimate chlorophyll concentration in spinach using multi-spectral plant reflectance. *Am Soc Agricultural and Biological Engineering*, 50 2267-2273.
- JUENGER, E.T. (2013): Natural variation and genetic constraints on drought tolerance. *Current Opinion in Plant Biology*, 16 274-281.
- KARSAI, I. (2012): LD térképezés, asszociációs vizsgálatok. [http://www.mgki.hu/\\_user/browser/File/PDF/bme2012/3.ea\\_Karsai\\_2012.pdf](http://www.mgki.hu/_user/browser/File/PDF/bme2012/3.ea_Karsai_2012.pdf). Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: gén térképezés, génizolálás. Lekérdezés időpontja: 2016.12.05.
- KAUR, V., SINGH, S., BEHL, R.K. (2016): Heat and drought tolerance in wheat: Integration of physiological and genetic platforms for better performance under stress. *Journal of Crop Breeding and Genetics*, 2 (1) 1-14.
- KAWASAKI, S., BORCHERT, C., DEYHOLOS, M., WANG, H., BRAZILLE, S., KAWAI, K., GALBRAITH, D., BOHNER, T H. J. (2001): Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *The Plant Cell*, 13 889-905.
- KELES, Y., ONCEL, I. (2002): Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163 783-790.
- KICHEY, T., HIREL, B., HEUMEZ, E., DUBOIS, F., LE GOUIS, J. (2007): In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*, 102 22-32.
- KILIAN, B., MARTIN, W., SALAMINI, F. (2010): Genetic diversity, evolution and domestication of wheat and barley in the Fertile Crescent. *Evolution in action*. M. Glaubrecht (ed.), 137-166.
- KILIC, H., YAGBASANLAR, T. (2010): The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38 (1) 164-170.

- KIM, C.K., YOON, U.H., LEE, G.S., PARK, S.H., SEOL, Y.J., LEE, H.K., HAHN, J.H. (2009): An integrated database to enhance the identification of SNP markers for rice. *Bioinformatics*, 4 (6) 269-270.
- KISS E. (1999): Növényi molekuláris genetika I. *Egyetemi jegyzet. SZIE Genetika és Növénynevelés Tanszék, Gödöllő*, 118.
- KOVÁCS, T., LAKATOS, M. (2015): Hőhullámok nyara. Tanulmányok. [http://met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek\\_tanulmanyok/index.php?id=1398](http://met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=1398)  
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: hőhullám, hőmérséklet, csapadék. Lekérdezés időpontja: 2016.12.05.
- KSH (2016): A fontosabb növények vetésterülete, 2016. június 1. *Statisztikai Tükör*, 1-3.
- KUMAR, A., BERNIER, J., VERULKAR, S., LAFITTE, H.R., ATLIN, G.N. (2008): Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. *Field Crop Research*, 107 221-231.
- KUSANO, T., YAMAGUCHI, K., BERBERICH, T., TAKAHASHI, Y. (2007): Advances in polyamine research in 2007. *Journal of Plant Research*, 120 345-350.
- LAIDÒ, G., MARONE, D., RUSSO, M.A., COLECCHIA, S.A., MASTRANGELO, A.M., DE VITA, P., PAPA, R. (2014): Linkage disequilibrium and genome-wide association mapping in Tetraploid Wheat (*Triticum turgidum* L.) *PLoS ONE*, 9 (4) e95211.
- LÁNG L., BEDŐ Z. (2004): Jó alkalmazkodó képességű fajta nélkül nincs biztonságos búzatermesztés. *Agrofórum Extra*, 6 16-17.
- LÁNG, L., BEDŐ, Z. (2015): Új kihívások a búzatermesztésben. *Agrofórum*, 60 5-7.
- LEE, S.B., SUH, M.C. (2015): Advances in the understanding of cuticular waxes in *Arabidopsis thaliana* and crop species. *Plant Cell Reports*, 34 557-572.
- LEVITT, J. (1980): Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt, and other stresses. *Academic Press*, 607.
- LI, H., HEARNE, S., BANZIGER, M., LI, Z., WANG, J. (2010): Statistical properties of QTL linkage mapping in biparental genetic populations. *Heredity*, 105 257-267.
- LI, J., ZHANG, Y., GU, J., GUO, C., WEN, S., LIU, G., XIAO, K. (2011): Molecular characterization and roles of AP2 transcription factors on drought tolerance in plants. *Frontiers of Agriculture in China*, 5 (4) 463-472.
- LIANG, Y.L., LUR, H.S. (2002): Conjugated and free polyamine levels in normal and aborting maize kernels. *Crop Science*, 42 1217-1224.
- LIU, W.Y., KANG, J.H., JEONG, H.S., CHOI, H.J., YANG, H.B., KIM, K.T., CHOI, D., CHOI, G.J., JAHN, M., BYOUNG-CHEORL KANG, B.C. (2014): Combined use of bulked segregant analysis and microarrays reveals SNP markers pinpointing a major QTL for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 127 (11) 2503-2513.
- LIU, Y., GU, D., WU, W., WEN, X., LIAO, Y. (2013): The relationship between polyamines and hormones in the regulation of wheat grain filling. *PLoS ONE* 8 (10) e78196.
- LOBELL, D.S., BURKE, M.B., TEBALDI, C., MASTRANDREA, M.D., FALCON, W.P., NAYLOR, R.L. (2008): Prioritizing climate change adaptation Needs for food security in 2030. *Science*, 319 (5863) 607-610.
- LOBELL, B.D., GOURDJI, M.S. (2012): The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*, 160 1686-1697.
- LOPES, M., DREISIGACKER, S., PEÑA, R., SUKUMARAN, S., REYNOLDS, M. (2015): Genetic characterization of the Wheat Association Mapping Initiative (WAMI) panel for dissection of complex traits in spring wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 128 453-464.



- LOPES, M.S., REYNOLDS, M.P. (2012): Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *Journal of Experimental Botany*, 63 3789-3798.
- LOPRESTI, M.F., DI BELLA, C.M., DEGIOANNI, A.J. (2015): Relationship between MODIS-NDVI data and wheat yield: A case study in Northern Buenos Aires province, Argentina. *Information Processing in Agriculture*, 2 73-84.
- LU, Y.L., HAO, Z.F., XIE, C.X., J. CROSSA, J., ARAUS, J.L., GAO, S.B., VIVEK, B.S., MAGOROKOSHO, C., MUGO, S., MAKUMBI, D., TABA, S., PAN, G.T., LI, X.H., RONG, T.Z., ZHANG, S.H., XU, Y.B. (2011): Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. *Field Crop Research*, 124 37-45.
- MACCAFERRI, M., SANGUINETI, M.C., NOLI, E., TUBEROSA, R. (2005): Population structure and long-range linkage disequilibrium in a durum wheat elite collection. *Molecular Breeding*, 15 271-289.
- MACCAFERRI, M., SANGUINETI, M.C., CORNETI, S., ORTEGA, J.L., SALEM, M.B., BORT, J., DEAMBROGIO, E., DEL MORAL, L.F., DEMONTIS, A., EL-AHMED, A., MAALOUF, F., MACHLAB, H., MARTOS, V., MORAGUES, M., MOTAWAJ, J., NACHIT, M., NSERALLAH, N., OUABBOU, H., ROYO, C., SLAMA, A., TUBEROSA, R. (2008): Quantitative Trait Loci for grain yield and adaptation of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) across a wide range of water availability. *Genetics*, 178 489-511.
- MACCAFERRI, M., SANGUINETI, M.C., DEMONTIS, A., EL-AHMED, A., LUIS MORAL, L.G. (2011): Association mapping in durum wheat grown across a broad range of water regimes. *Journal of Experimental Botany*, 62 409-438.
- MACCAFERRI, M., CANE, M.A., SANGUINETI, M.C., SALVI, S., COLALONGO, M.C., MASSI, A., CLARKE, F., KNOX, R., POZNIAK, C.J., CLARKE, J.M., FAHIMA, T., DUBCOVSKY, J., XU, S., AMMAR, K., KARSAI, I., VIDA, GY., TUBEROSA, R. (2014): A consensus framework map of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for linkage disequilibrium analysis and genome-wide association mapping. *Genomics*, 15 873.
- MAGNEY, T.S., VIERLING, L.A., EITEL, J.U.H., HUGGINS, D.R., GAMITY, S.R. (2016): Response of high frequency photochemical reflectance index (PRI) measurements to environmental conditions in wheat. *Remote Sensing of Environment*, 173 84-97.
- MAJER, P., SASS, L., LELLEY, T., CSEUZ, L., VASS, I., DUDITS, D., PAUK, J. (2008): Testing drought tolerance of wheat by a complex stress diagnostic system installed in greenhouse. *Acta Biologica Szegediensis*, 52 (1) 97-100.
- MAJUMDER, D.A.N., SHAMSUDDIN, A.K.M., KABIR, M.A., HASSAN, L. (2008): Genetic variability, correlated response and path analysis of yield and yield contributing traits of spring wheat. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 6 (2) 27-234.
- MATSKÁSI, I. (1984): Élelmiszer hatmilliárd ember számára. *Magyar Tudomány*, 29 (91) 1-10.
- MÁTYÁS CS. (1974): Az örökölhetőség fogalma és becslése az erdészeti nemesítésben. *Erdészeti Kutatások*, 70:(1) 207-218.
- MÁTYÁS, CS. (2002): Erdészeti - természetvédelmi genetika. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 422.
- MCKERSIE, B.D., BOWLEY, S.R., HARJANTO, E., LEPRINCE, O. (1996): Water-deficit tolerance and field performance of transgenic alfalfa overexpressing superoxide dismutase. *Plant Physiology*, 111 117-118.
- MCMMASTER, G.S. (2005): Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. *Journal of Agricultural Science*, 143 137-150.

- MILES, E.L., ELSNER, M.M., LITTELL, J.S., BINDER, L.W., LETTENMAIER, D.P. (2010): Assessing regional impacts and adaptation strategies for climate change: the Washington Climate Change Impacts Assessment *Climatic Change*, 102 (1) 9-27.
- MILLER, G., SHULAEV, V., MITTLER, R. (2008): Reactive oxygen signaling and abiotic stress. *Physiologia Plantarum*, 133 (3) 481-489.
- MINOCHA, R., MAJUMDAR, R., MINOCHA, S.C. (2014): Polyamines and abiotic stress in plants: a complex relationship. *Frontiers in Plant Science*, 5 175.
- MIROSAVLJEVIĆ, M., PRŽULJ, N., MOMČILOVIĆ, V., HRISTOV, N., MAKSIMOVIĆ, I. (2015): Dry matter accumulation and remobilization in winter barley as affected by genotype and sowing date. *Genetika*, 47 (2) 751-763.
- MITTLER, R., VANDERAUWERA, S., GOLLERY, M., VAN BREUSEGEM, F. (2004): Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9 490-498.
- MOHAMMADI, R., FARSHADFAR, E., AGHAEI-SARBARZEH, M., SUTKA, J. (2003): Locating QTLs controlling drought tolerance criteria in rye using disomic addition lines. *Cereal Research Communication*, 31 257-264.
- MOHAMMADI, R., KARIMIZADEH, R. (2012): Insight into heat tolerance and grain yield improvement in wheat in warm rainfed regions of Iran. *Crop Breeding Journal*, 2 (1) 1-8.
- MOHR, P.G., CAHILL, D.M. (2003): Abscisic acid influences the susceptibility of *Arabidopsis thaliana* to *Pseudomonas syringae* pv. tomato and *Peronospora parasitica*. *Functional Plant Biology*, 30 461-469.
- MOLNÁR-LÁNG, M., LINC, G., D. NAGY, E., SCHNEIDER, A., MOLNÁR, I. (2002): Molecular cytogenetic analysis of wheat-alien hybrids and derivatives. *Acta Agronomica Hungarica*, 50 303-311.
- MOLNÁR-LÁNG, M., LINC, G., SZAKÁCS, É. (2014) Wheat–barley hybridization: The last 40 years. *Euphytica*, 195 315-29.
- MUNNS, R., JAMES, R.A., SIRAULT, X.R.R., FURBANK, R.T., JONES, H.G. (2010): New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. *Journal of Experimental Botany*, 61 3499-3507.
- MWADZINGENI, L., SHIMELIS, H., TESFAY, S., TSILO, T.J. (2016): Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. *Frontiers in Plant Science*, 7 1276.
- NAKASHIMA, K., ITO, Y., YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. (2009): Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in *Arabidopsis* and grasses. *Plant Physiology*, 149 88-95.
- NAWAZ, H., HUSSAIN, N., YASMEEN, A. (2015): Growth, yield and antioxidants status of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52 (4) 953-959.
- NEVO, E., CHEN, G. (2010): Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell and Environment*, 33 670-685.
- NGUYEN, T.X., STICKLEN, M. (2013): Barley HVA1 gene confers drought and salt tolerance in transgenic maize (*Zea Mays* L.). *Advances in Crop Science and Technology*, 1: 105.
- NOURI, A., ETMINAN, A., SILVA, J.A., MOHAMMADI, R. (2011): Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. Durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science*, 5 (1) 8-16.
- NOURI-GANBALANI, A., NOURI-GANBALANI, G., D. HASSANPANAHI, D. (2009): Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7 228-234.
- NYIRI L. (1993): Földműveléstan. *Mezőgazda Kiadó. Budapest.*

- OLSEN, H.G., HAYES, B.J., KENT, M.P., NOME, T., SVENDSEN, M., LARSGARD, A.G., LIEN, S. (2011): Genome-wide association mapping in Norwegian Red cattle identifies quantitative trait loci for fertility and milk production on BTA12. *Animal Genetics*, 42 (5) 466-474.
- OMSZ (2015): [http://www.met.hu/omsz/OMSZ\\_hirek/index.php?id=1523](http://www.met.hu/omsz/OMSZ_hirek/index.php?id=1523). Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 2015, éghajlat, értékelés. Lekérdezés időpontja: 2016.12.05.
- ORHAN, O., EKERCIN, S., DADASER-CELIK, F. (2014): Use of landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the salt lake basin area, Turkey. *HINDAWI*, 2014 1-11.
- OZTURK, A., CAGLAR, O., BULUT, S. (2006): Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192 10-16.
- PÁL M., HORVÁTH E., JANDA T., PÁLDI E., SZALAI G. (2005): Cadmium stimulates the accumulation of salicylic acid and its putative precursors in maize (*Zea mays* L.) plants. *Physiologia Plantarum*, 125 356-64.
- PÁL M., KOVÁCS V., VIDA GY., SZALAI G., JANDA T. (2013): Changes induced by powdery mildew in the salicylic acid and polyamine contents and the antioxidant enzyme activities of wheat lines. *European Journal of Plant Pathology*, 135 35-47.
- PÁL, M., SZALAI, G., JANDA, T. (2015): Speculation: polyamines are important in abiotic stress signalling. *Plant Science*, 237 16-23.
- PÁLFAI I. (2009): Aszályos évek a Kárpát-medencében a 18-20. században. „*KLÍMA-21*” *Füzetek*, 57 107-112.
- PÁLFAI I. (2010): Az aszályok gyakorisága a Kárpát-medencében az utóbbi háromszáz évben. „*KLÍMA-21*” *Füzetek*, 59 42-45.
- PASK, A., PIETRAGALLA, J. (2012): Leaf area, green crop area and senescence. In ‘Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping’. (*International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT): Mexico City*), 58-62.
- PASSAIA, G., CAVERZAN, A., FONINI, L.S., CARVALHO, F.E.L., SILVEIRA, J.A.G., MARGIS-PINHEIRO, M. (2014): Chloroplastic and mitochondrial GPX genes play a critical role in rice development. *Biologica Plantarum*, 58 375-378.
- PASSAIA, G., FONINI, L.S., CAVERZAN, A., JARDIM-MESSEDER, D., CHRISTOFF, A.P., GAETA, M.L., MARIATH, J.E.A., MARGIS, R., MARGIS-PINHEIRO, M. (2013): The mitochondrial glutathione peroxidase GPX3 is essential for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> homeostasis and root and shoot development in rice. *Plant Science*, 208 93-101.
- PASSIOURA, J.B. (2007): The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58 (2) 113-117.
- PASSIOURA, J. (2012): Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? *Functional Plant Biology*, 39 851-859.
- PELEG, Z., SARANGA, Y., KRUGMAN, T., ABBO, S., NEVO, E., FAHIMA, T. (2008): Allelic diversity associated with aridity gradient in wild emmer wheat populations. *Plant, Cell and Environment*, 31 39-49.
- PENG, J.H., SUN, D.F., PENG, Y.L., NEVO, E. (2013): Gene discovery in *Triticum dicoccoides*, the direct progenitor of cultivated wheats. *Cereal Research Communication*, 41 1-22.
- PENG, Q., LIN, Y., HU, Y., LIU, K., MAO, S., LI, Z., WANG, J., LIU, Y., WEI, Y., ZHENG, Y. (2016): Genome-wide association study of drought-related resistance traits in *Aegilops tauschii*. *Genetics and Molecular Biology*, 39 (3) 398-407.
- PINTO, R.S., REYNOLDS, M.P., MATHEWS, K.L., MCINTYRE, C.L., OLIVARES-VILLEGAS, J.J., CHAPMAN, S.C. (2010): Heat and drought adaptive QTL in a

- wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. *Theoretical and Applied Genetics*, 121 1001-1021.
- PLACIDO, D.F., CAMPBELL, M.T., FOLSOM, J.J., CUI, X.P., KRUGER, G.R., BAENZIGER, P.S., WALIA, H. (2013): Introgression of novel traits from a wild wheat relative improves drought adaptation in wheat. *Plant Physiol.*, 161 1806-1819.
- QIN, F., SHINOZAKI, K., YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. (2011): Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 52 1569-1582.
- RAGHEID, A., TAHAR, B., ABDELLAH, A. (2011): Smart irrigation system for wheat in Saudi Arabia using wireless sensors network technology. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 1 (6) 478-482.
- RAJABI, A., OBER, E.S. (2012): Breeding for improved drought tolerance. Crop production for agricultural improvement. *Springer Dordrecht Heidelberg, New York. ISBN 978-94-007-4116-4.* 43-57.
- RANC, N., MUNOS, S., XU, J., LE PASLIER, M.C., CHAUVEAU, A., BOUNON, R., ROLLAND, S., BOUCHET, J.P., BRUNEL, D., CAUSSE, M. (2012): Genome-wide association mapping in tomato (*Solanum lycopersicum*) is possible using genome admixture of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *G3 (Bethesda)*, 2 (8) 853-864.
- RAVI, K., VADEZ, V., ISOBE, S., MIR, R.R., GUO, Y., NIGAM, S.N., GOWDA, M.V.C., RADHAKRISHNAN, T., BERTIOLI, D.J., KNAPP, S.J., VARSHNEY, R.K. (2011): Identification of several small main-effect QTLs and a large number of epistatic QTLs for drought tolerance in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) *Theoretical and Applied Genetics*, 122 1119-1132.
- REIF, J.C., ZHANG, P., DREISIGACKER, S., WARBURTON, M.L., VAN GINKEL, M., HOISINGTON, D., BOHN, M., MELCHINGER, A.E. (2005): Wheat genetic diversity trends during domestication and breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 110 (5) 859-64.
- REYNOLDS, M.P., MANES, Y., IZANLOO, A., LANGRIDGE, P. (2009): Phenotyping for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Annals of Applied Biology*, 155 309-320.
- REYNOLDS, M.P., ORTIZ-MONASTERIO, J.I., MCNAB, A. (2001): Application of physiology in wheat breeding. *Mexico, CIMMYT*, 246.
- REYNOLDS, M.P., SAINT PIERRE, C., ABU, S.I.S., VARGAS, M., CONDON, A.G. (2007): Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in diverse germplasm under drought and heat stress. *Crop Science*, 47 172-189.
- RICHARDS, R.A. (2006): Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. *Agricultural Water Management*, 80 197-211.
- RICHARDS, R.A., REBETZKE, G.J., WATT, M., CONDON, A.G., SPEILMEYER, W., DOLFERUS, R. (2010): Breeding for improved water productivity in temperate cereals: phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Functional Plant Biology*, 37 85-97.
- RIZHSKY, L., LIANG, H., MITTLER, R. (2002): The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiology*, 130 (3) 1143-1151.
- ROSIELLE, A.A., HAMBLIN, J. (1981): Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21 943-946.
- ROSYARA, U.R., PANT, K., DUVEILLER, E., SHARMA, R.C. (2007): Variation in chlorophyll content, anatomical traits and agronomic performance of wheat genotypes differing in spot blotch resistance under natural epiphytotic conditions. *Australasian Plant Pathology*, 36 245-251.

- RUCKER K.S., KEVIN, C.K., HOLBROOK, C.C., HOOK, J.E. (1995): Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Penaut Science*, 22 14-18.
- SAEEDIPOUR, S. (2011): Effect of drought at the post-anthesis stage on remobilization of carbon reserves in two wheat cultivars differing in senescence properties. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3 (2) 15-24.
- SAINT PIERRE, C., CROSSA, J.L., BONNETT, D. (2012): Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. *Journal of Experimental Botany*, 63 1799-1808.
- SALEKDEH, G.H., SIOPONGCO, J., WADE, L.J., GHAREYAZIE, B., BENNETT, J. (2002): A proteomic approach to analyzing drought- and salt responsiveness in rice. *Field Crops Research*, 76 199-219.
- SANDLER, L., NELSON, K. A., DUDENHOEFFER, C. (2014): Winter wheat row spacing and alternative crop effects on relay-intercrop, double-crop, and wheat yields. *International Journal of Agronomy*, Volume 2015, ID 369243.
- SAREEN, S., TYAGI, B.S., SARIAL, A.K., TIWARI, V., SHARMA, I. (2014): Trait analysis, diversity, and genotype x environment interaction in some wheat landraces evaluated under drought and heat stress conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74 135-142.
- SATO, Y., YOKOYA, S. (2008): Enhanced tolerance to drought stress in transgenic rice plants overexpressing a small heat-shock protein, sHSP17.7. *Plant Cell Reports*, 27 329-334.
- SEDIGHEH, H.G., MORTAZAVIAN, M., NOROUZIAN, D., ATYABIL, M., AKBARZADEH, A., HASANPOOR, K., GHORBANI, M. (2011): Oxidative stress and leaf senescence. *BMC Research Notes*, 4 477.
- SEMENOV, M.A. (2007): Development of high resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144 127-138.
- SEMENOV, M.A., HALFORD, N.G. (2009): Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate. *Journal of Experimental Botany*, 60 2791-2804.
- SHAO H.B., CHU, L.Y., JALEEL, C.A., ZHAO, C.X. (2008): Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus*, 331 215-225.
- SHARMA, R.C., DUVEILLER, E., ORTIZ-FERRARA, G. (2007): Progress and challenge towards reducing wheat spot blotch threat in the Eastern Gangetic Plains of South Asia: is climate change already taking its toll? *Field Crops Research*, 103 109-118.
- SHARP, R.E., WU, Y.J., VOETBERG, G.S., SAAB, I.N., LENOBLE, M.E. (1994): Confirmation that abscisic-acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. *Journal of Experimental Botany*, 45 1743-1751.
- SHUKLA, S., SINGH, K., PATIL, R.V., KADAM, S., BHARTI, S., PRASAD, P., SINGH, N.K., KHANNA-CHOPRA, R. (2015): Genomic regions associated with grain yield under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 203 449-467.
- SIM, S-C., DURSTEWITZ, G., PLIESKE, J., WIESEKE, R., GANAL, M.W., VAN DEYNZE, A., HAMILTON, J.P., BUELL, C.R., CAUSSE, M., WIJERATNE, S., FRANCIS, D.M. (2012): Development of a large SNP genotyping array and generation of high-density genetic maps in tomato. *PLoS ONE*, 7.
- SLAFER, G.A., ABELEDO, L.G., MIRALLES, D.J., GONZALEZ, F.G., WHITECHURCH, E.M. (2001): Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica*, 119 191-197.
- SLAFER, G.A., RAWSON, H.M. (1994): Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by Physiologists and Modellers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21 (4) 393-426.

- SLAFER, G.A., SAVIN, R., SADRAS, V.O. (2014): Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157 71-83.
- SONG, Q., HYTEN, D.L., JIA, G., QUIGLEY, C.V., FICKUS, E.W., NELSON, R.L., CREGAN, P.B. (2013): Development and evaluation of SoySNP50K, a high-density genotyping array for soybean. *PLoS ONE*, 8.
- SPARKES D.L. (2010): Are 'ancient wheat species' more adapted to hostile environments than modern bread wheat? *South African Journal of Plant and Soil*, 27 331-334.
- SPITKÓ, T., NAGY, Z., ZSUBORI TÓTHNÉ, Z., HALMOS, G., BÁNYAI, J., MARTON, L.C. (2014): Effect of drought on yield components of maize hybrids (*Zea mays* L.). *Maydica*, 59 1-9.
- SPITKÓ, T., PINTÉR, J., MARTON, L.C. (2013): Szárazság és aszálytűrés: hogyan védekezhetnek növényeink a vízhiány ellen. *Martonvásár*, 55 (1) 24-26.
- SREENIVASULU, N., SCHNURBUSCH, T. (2012): A genetic playground for enhancing grain number in cereals. *Trends in Plant Science*, 17 91-101.
- SRIVALLI, S., KHANNA-CHOPRA, R. (2009): Delayed wheat flag leaf senescence due to removal of spikelets is associated with increased activities of leaf antioxidant enzymes, reduced glutathione/oxidized glutathione ratio and oxidative damage to mitochondrial proteins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 663-670.
- STEINMETZ, L.M., SCHARFE, C., DEUTSCHBAUER, A.M., MOKRANJAC, D., HERMAN, Z.S., JONES, T., CHU, A.M., GIAEVER, G., PROKISCH, H., OEFNER, P.J., DAVIS, R.W. (2002): Systematic screen for human disease genes in yeast. *Nature Genetics*, 31 (4) 400-4.
- STENBERG, P., RAUTIAINEN, M., MANNINEN, T. (2004): Reduced simple ratio better than NDVI for estimating LAI in Finnish pine and spruce stands. *Silva Fennica*, 38 (1) 3-14.
- SUKUMARAN, S., DREISIGACKER, S., LOPES, M., CHAVEZ, P., REYNOLDS, M.P. (2015): Genome-wide association study for grain yield and related traits in an elite spring wheat population grown in temperate irrigated environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 128 353-363.
- SULTAN, M., HUI, L., YANG, L.J., XIAN, Z.H. (2012): Assessment of drought tolerance of some *Triticum L.* species through physiological indices. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 48 178-184.
- SUN, W., BERNARD, C., VAN DE COTTE, B., VAN MONTAGU, M., VERBRUGGEN, N. (2001): At-HSP17.6A, encoding a small heatshock protein in *Arabidopsis*, can enhance osmotolerance upon overexpression. *The Plant Journal*, 27 (5) 407-415.
- SYLVESTER-BRADLEY, R., SCOTT, R.K., WRIGHT, C.E. (1990): Physiology in the production and improvement of cereals. *HGCA Research Review 18*, London. <https://cereals.ahdb.org.uk/media/409975/rr18.pdf>.
- SZENTIMREY, T., BIHARI, Z. (2014): Magyarország. [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarorszag/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/).
- TAHIR, I.S.A., NAKATA, N. (2005): Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal Agronomy and Crop Science*, 191 (2) 106-115.
- TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., MURPHY, A. (2015): Plant physiology and development. *Sixth editions. Sunderland, MA*. 761.
- TALUKDER, S.K., BABAR, M.A., VIJAYALAKSHMI, K., POLAND, J., PRASAD, P.V.V., BOWDEN, R., FRITZ, A. (2014): Mapping QTL for the traits associated with heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Genetics*, 15 97.

- TARDIEAU, F., REYMOND, M., HAMARD, P., GRANIER, C., MULLER, B. (2000): Spatial distributions of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: a synthesis of the effects of soil water status, evaporative demand and temperature. *Journal of Experimental Botany*, 51 (350) 1505-1514.
- THOMAS, H., SMART, C.M. (1993): Crops that stay green. *Annals of Applied Biology*, 123 193-219.
- THOMAS H., HOWARTH C.J. (2000): Five ways to stay green. *Journal of Experimental Botany*, 51 329-337.
- THORNSBERRY, J.M., GOODMAN, M.M., DOEBLEY, J., S. KRESOVICH, S., D. NIELSON, D., BUCKLER, E.S. (2001): Dwarf8 polymorphisms associate with variation in flowering time. *Nature Genetics*, 28 286-289.
- TÓTH, E.G., KÖBÖLKUTI, Z.A., PEDRYC, A., HÖHN, M. (2015): SNP markerek és használatuk fenyőfajok molekuláris genetikai vizsgálatainál. *Kertgazdaság*, 47 (2) 79-87.
- TRENBERTH, K.E. (2011): Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47 123-138.
- TRETHOWAN R.M, MUJEEB-KAZI A. (2008): Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. *Crop Science*, 48 1255-1265.
- TRETHOWAN, R.M., REYNOLDS, M., SAYRE, K., ORTIZ-MONASTERIO, I. (2005): Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs. *Annals of Applied Biology*, 146 (4) 405-413.
- TSENOV, N., ATANASOVA, D., STOIEVA, I., TSENOVA, E. (2015): Effects of drought on grain productivity and quality in winter bread wheat. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21 (3) 592-598.
- TUBEROSA, R. (2012): Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in Physiology*, 3 347.
- TÜRKÖSI, E., CSEH, A., DARKÓ, É., MOLNÁR-LÁNG, M. (2016): Addition of Manas barley chromosome arms to the hexaploid wheat genome. *BMC Genetics*, 1-13.
- VALÉRIO, I.P., DE CARVALHO, F.I.F., BENIN, G., DA SILVEIRA, G., DA SILVA, J.A.G., NORNBURG, R., HAGEMANN, T., DE SOUZA LUCHE, H., COSTA DE OLIVEIRA A. (2013), Seeding density in wheat: the more, the merrier? *Scientia Agricola*, 40 (3) 176-184.
- VARGA, B., JANDA, T., LASZLO, E., VEISZ, O. (2012): Influence of abiotic stresses on the antioxidant enzyme activity of cereals. *Acta Physiol Plant.*, 34 849-858.
- VÁRALLYAY, G. (2010): A talaj, mint víztározó; talajszárazodás. „KLÍMA-21” *Füzetek*, 59 3-25.
- VERMA, V., FOULKES, M.J., WORLAND, A.J., SYLVESTER-BRADLEY, R., CALIGARI, P.D.S., SNAPE, J.W. (2004): Mapping quantitative trait loci for flag leaf senescence as a yield determinant in winter wheat under optimal and drought-stressed environments. *Euphytica*, 135 (3) 255-263.
- VERSLUES, P.E., AGARWAL, M., KATIYAR-AGARWAL, S., ZHU, J., ZHU, J.K. (2006): Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45 523-539.
- VILLEGAS, D., CASADESU'S, J., ATIENZA, S.G., MARTOS, V., MAALOUF, F., KARAM, F., ARANJUELO, I., NOGUE'S, S. (2010): Tritordeum, wheat and triticale yield components under multi-local mediterranean drought conditions. *Field Crop Research*, 116 68-74.
- WANG, M., JIANG, N., JIA, T., LEACH, L., COCKRAM, J., COMADRAN, J., SHAW, P., WAUGH, R., LUO, Z. (2012): Genome-wide association mapping of agronomic



- and morphologic traits in highly structured populations of barley cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 124 (2) 233-246.
- WANG, H., MCCAIG, T.N., DEPAUW, R.M., CLARKE, J.M. (2008): Flag leaf physiological traits in two high-yielding Canada western red spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 88 35-42.
- WANG, S., WONG, D., FORREST, K., ALLEN, A., CHAO, S., HUANG, BE., MACCAFERRI, M., SALVI, S., MILNER, S.G., CATTIVELLI, L., MASTRANGELO, et. al (2014): Characterization of polyploid wheat genomic diversity using a high-density 90 000 single nucleotide polymorphism array. *Plant Biotechnology Journal*, 12 787-796.
- WATERS, B.M., UAUY, C., DUBCOVSKY, J., GRUSAK, M.A. (2009): Wheat (*Triticum aestivum*) NAM proteins regulate the translocation of iron, zinc, and nitrogen compounds from vegetative tissues to grain. *Journal of Experimental Botany*, 60 4263-4274.
- WHEELER, T.R., HONG, T.D., ELLIS, R.H., MORISON, J.I.L., HADLEY, P., (1996): The duration and rate of grain growth, and harvest index of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO<sub>2</sub> *Journal of Experimental Botany*, 47 (298) 623-630.
- WIEDMANN, R.T., SMITH, T.P.L., NONNEMAN, D.J. (2008): SNP discovery in swine by reduced representation and high throughput pyrosequencing. *BMC Genetics*, 9 81.
- WIMALASEKERA, R., TEBARTZ, F., SCHERER, G.F.E. (2011): Polyamines, polyamine oxidases and nitric oxide in development, abiotic and biotic stresses. *Plant Science*, 181 593-603.
- WOOD, G.A., WELSH, J.P., GODWIN, R.J., TAYLOR, J.C., EARL, R., KNIGHT, S.M. (2003): Real-time measures of canopy size as a basis for spatially varying nitrogen applications to winter wheat sown at different seed rates. *Biosystems Engineering*, 84 (4) 513-531.
- WORCH, S., RAJESH, K., HARSHAVARDHAN, V.T., PIETSCH, C., KORZUN, V., KUNTZE, L., BÖRNER, A., WOBUS, U., RÖDER, M.S., SREENIVASULU, N. (2011): Haplotyping, linkage mapping and expression analysis of barley genes regulated by terminal drought stress influencing seed quality. *BMC Plant Biology*, 11 1.
- WORSTER, D. (1979): Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930s. *New York: Oxford University, 25 Anniversary Edition*, 304.
- XIONG, L., WANG, R-G., MAO, G., KOCZAN, J.M. (2006): Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. *Plant Physiology*, 142 1065-1074.
- XU, L., HAN, L., HUANG, B. (2011): Antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves of Kentucky bluegrass in response to drought and post-drought recovery. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136 247-255.
- XU, S. (2003): Theoretical basis of the Beavis effect. *Genetics*, 165 2259-2268.
- XUEMEI, JI., JIANLIN, W., DAVID, C. L., COLIN, L.D.J., ANTHONY, G.C., RICHARD A.R., RUDY, D. (2010): Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant, Cell and Environment*, 33 926-942.
- YANG, J.C., CAO, Y.Y., ZHANG, H., LIU, L.J., ZHANG, J.H. (2008): Involvement of polyamines in the post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice. *Planta*, 228 137-149.



- YANG J., ZHANG J., HUANG Z., ZHU Q., WANG L. (2000): Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science*, 40 1645-1655.
- YANG, J., ZHANG, J., LIU, K., WANG, Z., LIU, L. (2007): Involvement of polyamines in the drought resistance of rice. *Journal of Experimental Botany*, 58 (6) 1545-1555.
- YANG, J., ZHANG, J., WANG, Z., ZHU, Q., LIU, L. (2001): Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat in grain filling. *Agronomy Journal*, 93, 196-206.
- YANG, J.C, ZHANG, J.H., WANG, Z.Q., ZHU, Q.S., LIU, L.J. (2003): Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant, Cell and Environment*, 26 1621-1631.
- YANG J., ZHANG J., WANG Z., ZHU Q., WANG W. (2001): Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. *Field Crops Research*, 71, 47-55.
- YANG, J., ZHANG, J., WANG, Z., XU, G., ZHU, Q. (2004): Activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling. *Plant Physiology*, 135 1621-1629.
- YANG, L., SU, N., WU, M., WANG, C., HU, H. (2011): Proteomics to identify pathogenesis-related proteins in rice roots under water deficit. *Biologia*, 66 477-483.
- YEATS, T.H., ROSE, J.K.C. (2013): The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiology*, 163 5-20.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T., KONZAK C.F. (1974): A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research*, 14 415-421.
- ZARATE-VALDEZ, J.L., WHITING, M.L., LAMPINEN, B.D., METCALF, S., USTIN, S.L., BROWN, P.H. (2012): Prediction of leaf area index in almonds by vegetation indexes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85 24-32.
- ZHANG, L.Y., LIU, D.C., GUO, X.L., YANG, W.L., SUN, J.Z., WANG, D.W., ZHANG, A. (2010b): Genomic distribution of quantitative trait loci for yield and yield-related traits in common wheat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52 (11) 996-1007.
- ZHANG, Z., LI, F., LI, D., ZHANG, H., HUANG, R. (2010a): Expression of ethylene response factor JERF1 in rice improves tolerance to drought. *Planta*, 232 (3) 765-774.
- ZHAO, C.X., HE, M.R., WANG, Z.L., WANG, Y.F., LIN Q. (2009): Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. *Comptes Rendus Biologies*, 332 759-764.
- ZHAO, K., TUNG, C-W., GEORGIA C. EIZENGA, G.C., MARK H. WRIGHT, M.H., ALI, M.L., PRICE, A.H., NORTON, G.J., ISLAM, M.R., REYNOLDS, A., MEZEY, J., MCCLUNG, A.M., BUSTAMANTE, C.D., MCCOUCH, S.R. (2011): Genome-wide association mapping reveals a rich genetic architecture of complex traits in *Oryza sativa*. *Nature Communications*, 2 467.
- ZHAO, Y., CHAN, Z., GAO, J., XING, L., CAO, M., YU, C., HU, Y., YOU, J., SHI, H., ZHU, Y., GONG, Y., MU, Z. et al. (2016): ABA receptor PYL9 promotes drought resistance and leaf senescence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 7 1949-1954.
- ZHU, C., ZHU, J., ZENG, Q., LIU, G., XIE, Z., TANG, H., CAO, J., ZHAO, X. (2009): Elevated CO<sub>2</sub> accelerates flag leaf senescence in wheat due to ear photosynthesis which causes greater ear nitrogen sink capacity and ear carbon sink limitation. *Functional Plant Biology*, 36 291-299.

ZHU, T., BUDWORTH, P., CHEN, W.Q., PROVART, N., CHANG, H.S., GUIMIL, S., SU, W.P., ESTES, B., ZOU, G.Z., WANG, X. (2003): Transcriptional control of nutrient partitioning during rice grain filling. *Plant Biotechnology Journal*, 1 59-70.

## M2. A kísérletbe vont 188 durumbúza genotípus

Kód	Név	Származás	Kód	Név	Származás	Kód	Név	Származás
DP002	CANNIZZO	Olaszország	DP075	ZEINAI	SzírIA	DP142	GUEROU-1	SzírIA
DP003	CLAUDIO	Olaszország	DP076	ANTON	Spanyolország	DP144	HAURANI	SzírIA
DP004	LESINA	Olaszország	DP077	APPIO	Olaszország	DP145	HEIDER	SzírIA
DP005	MERIDIANO	Olaszország	DP079	ARCANGELO	Olaszország	DP146	ICARDA121	SzírIA
DP006	MONGIBELLO	Olaszország	DP080	ARCOBALENO	Spanyolország	DP147	SEBOU	Spanyolország
DP007	NORBA	Olaszország	DP081	BRAVADUR	USA	DP148	ICARDA125	SzírIA
DP008	PIETRAFITTA	Olaszország	DP082	BRONTE	Olaszország	DP149	ICARDA78	SzírIA
DP010	TORREBIANCA	Olaszország	DP083	CAPEITIB	Olaszország	DP150	JORDAN	SzírIA
DP011	CIMMYT23	Mexkó	DP084	CAPELLI	Olaszország	DP151	KABIR-1	SzírIA
DP012	CIMMYT36	Mexkó	DP085	CICCIO	Olaszország	DP152	GR/BOY	SzírIA
DP013	CIMMYT41	Mexkó	DP086	COLORADO	USA	DP153	KHABUR-1	SzírIA
DP014	CIMMYT47	Mexkó	DP087	COLOSSEO	Olaszország	DP154	KRF	SzírIA
DP015	CIMMYT52	Mexkó	DP088	CORTEZ	USA	DP155	LAGONIL-2	SzírIA
DP016	CIMMYT67	Mexkó	DP089	CRESO	Olaszország	DP156	LAHN	SzírIA
DP017	CIMMYT73	Mexkó	DP090	DON PEDRO	SzírIA	DP157	LOUKOS-1	SzírIA
DP018	CIMMYT78	Mexkó	DP091	DULLIO	Olaszország	DP158	MAAMOURI-1	SzírIA
DP020	CIMMYT108	Mexkó	DP093	FLAMINIO	Olaszország	DP159	MARSYR-1	SzírIA
DP021	CIMMYT136	Mexkó	DP094	FORTORE	Olaszország	DP160	MASSARA-1	SzírIA
DP023	CIMMYT198	Mexkó	DP095	GARGANO	Olaszország	DP161	MIKI-1	SzírIA
DP024	CIMMYT222	Mexkó	DP096	GRAZIA	Olaszország	DP163	MURLAGOST-1	SzírIA
DP025	CIMMYT247	Mexkó	DP097	IRIDE	Olaszország	DP164	NILE	SzírIA
DP027	CIMMYT266	Mexkó	DP098	ITALO	Olaszország	DP166	OMGENIL-3	SzírIA
DP028	ALDEANO	Spanyolország	DP099	IXOS	Olaszország	DP167	OMLAHN-3	SzírIA
DP029	ARIESOL	Spanyolország	DP100	KRONOS	USA	DP168	OMRUF-2	SzírIA
DP030	ARTENA	Spanyolország	DP102	MESSAPIA	Olaszország	DP169	OMSNIMA-1	SzírIA
DP031	ASTIGI	Spanyolország	DP103	MEXICALI75	Mexkó	DP170	ORT-1	SzírIA
DP032	BOABDIL	Spanyolország	DP104	MOHAWK	USA	DP171	OTB-6	SzírIA
DP033	BOLENGA	Spanyolország	DP105	OFANTO	Olaszország	DP172	OUASERL-1	SzírIA
DP034	BOLIDO	Spanyolország	DP106	PLATANI	Olaszország	DP173	OUASLAHN-1	SzírIA
DP035	BOLO	Spanyolország	DP107	PLINIO	Olaszország	DP175	QUABRACH-1	SzírIA
DP036	BOMBASI	Spanyolország	DP108	PRODURA	Olaszország	DP176	QUADALETE	SzírIA
DP037	BORLI	Spanyolország	DP109	REVA	USA	DP177	RAZZAK	Tunézia
DP038	CANYON	Spanyolország	DP110	ROQUENO	Spanyolország	DP178	SAADA3/DDS/MIL1	SzírIA
DP039	DURCAL	Spanyolország	DP111	SVEVO	Olaszország	DP179	SAJUR	SzírIA
DP040	DUROI	Spanyolország	DP112	TRINAKRIA	Olaszország	DP181	SHABHA	SzírIA
DP041	GALLARETA	Spanyolország	DP113	VALBELICE	Olaszország	DP182	TELESET-5	SzírIA
DP042	ILLORA	Spanyolország	DP114	VALNOVA	Olaszország	DP183	TENSIFT-1	SzírIA
DP044	SENADUR	Spanyolország	DP116	WEST-BRED881	USA	DP184	TENBOL97-3	SzírIA
DP045	SULA	Spanyolország	DP117	WEST-BRED TURBO	USA	DP185	TUNSYR-1	SzírIA
DP046	1804	Marokkó	DP118	AGHRASS-1	SzírIA	DP186	WADALMEZ-1	SzírIA
DP047	1805	Marokkó	DP119	AINZEN-1	SzírIA	DP187	YOUNES-1	SzírIA
DP048	1807	Marokkó	DP120	ANGRE	Spanyolország	DP188	YOUSEF-1	SzírIA
DP049	1808	Marokkó	DP121	AMEDAKUL-1	SzírIA	DP189	KOFA	USA
DP050	1809	Marokkó	DP122	AMMAR-1	SzírIA	DP251	1A-1D5-10-63*MOJ0/RCOL	USA
DP053	JAWHAR	Marokkó	DP123	ARISLAHN-5	SzírIA	DP252	SOOTY_9/RASCON_37	Mexkó
DP054	MARJANA	Marokkó	DP124	ATLAST-1	SzírIA	DP253	STOTI/ALTAR 84/ALD	SzírIA
DP055	MARZAK	Marokkó	DP125	AUS-1	SzírIA	DP254	SOMAT_4/INTER 8	SzírIA
DP056	OURGH	Marokkó	DP126	AWALI-1	SzírIA	DP255	IBN_1/REDIGUL/CITTA/CHABHARA	Olaszország
DP057	TAREK	Marokkó	DP127	RADIO SO	Olaszország	DP256	MALMUR_1/LOTUS_5/FOCAL	SzírIA
DP060	AW12/BIT	SzírIA	DP128	AZEGHAR-2	SzírIA	DP257	1A-1D 5-10-62*WBB/ITALD 5-10-	USA
DP061	BIC/C/CHAMI/GRAS/TK	SzírIA	DP129	BCRCH-1	SzírIA	DP258	BESSANE_23/STOTI/ALTAR 84/ALD	SzírIA
DP062	CHABA/DERAA	SzírIA	DP130	BICRE	SzírIA	DP259	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	Mexkó
DP063	CHACAN	SzírIA	DP131	BICREDERAA-1	SzírIA	DP260	1A1A/99/93/94/ARABIC/CRAB/ALD	Olaszország
DP064	KARIM	Tunézia	DP132	BIGOST-1	SzírIA	DP261	1A1A/99/93/94/ARABIC/CRAB/ALD	Olaszország
DP065	HMOL/AMOR/CHABA 88	SzírIA	DP133	BLK2	SzírIA	DP262	1A1A/99/93/94/ARABIC/CRAB/ALD	Mexkó
DP066	KRS/HAUCAN	SzírIA	DP134	BRACHOUA	SzírIA	DP263	1A1A/99/93/94/ARABIC/CRAB/ALD	USA
DP067	LAGOST3	SzírIA	DP135	CHABHA88	SzírIA	DP264	1A1A/99/93/94/ARABIC/CRAB/ALD	Mexkó
DP068	MOULSABIL2	SzírIA	DP136	CHAM-1	SzírIA	DP265	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	Mexkó
DP069	OMBAR	SzírIA	DP137	DERAA	SzírIA	DP266	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	USA
DP071	OMRAB15	SzírIA	DP138	FURAT-1	SzírIA	DP267	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	Mexkó
DP072	QUAD/ERP/MAL/3/UNKN	SzírIA	DP139	GEROMTEL-1	SzírIA	DP268	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	Olaszország
DP073	SEBAH	SzírIA	DP140	GEZIRA17	SzírIA	DP269	1A1A_1/2/FOCAL/GR-1/3/BO/ALD	SzírIA
DP074	STOJOCRI-3	SzírIA	DP141	GIDARA-2	SzírIA			

### M3. A kísérleti területek fotói



1. fotó. GWA panel (Martonvásár, 2011)



2. fotó. GWA panel (Martonvásár, 2012)



3. fotó. GWA panel és NILs kísérletek (Martonvásár, 2013)

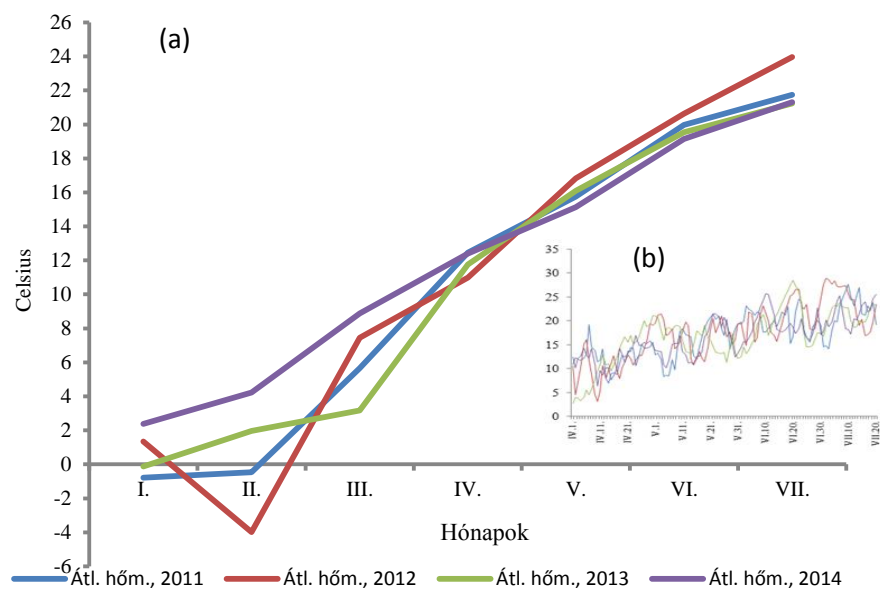


4. fotó. NILs kísérlet (Martonvásár, 2014)

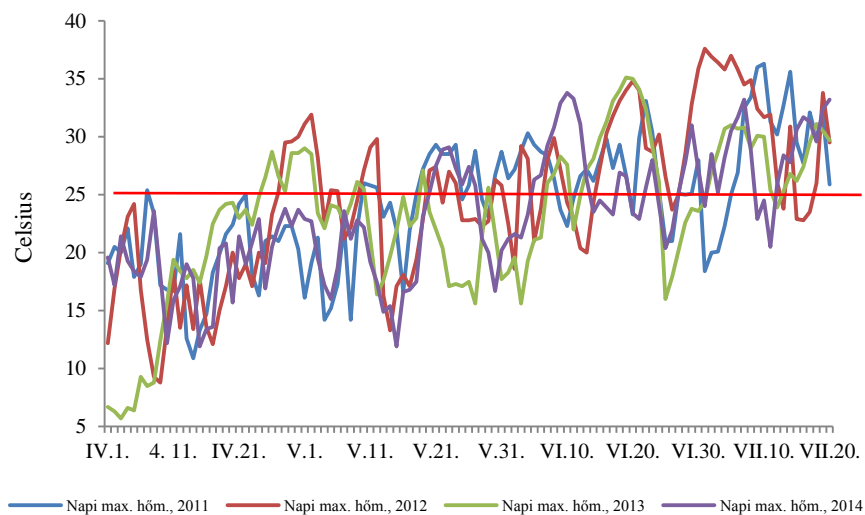


5. fotó. NILs-RS kísérlet (Martonvásár, 2014)





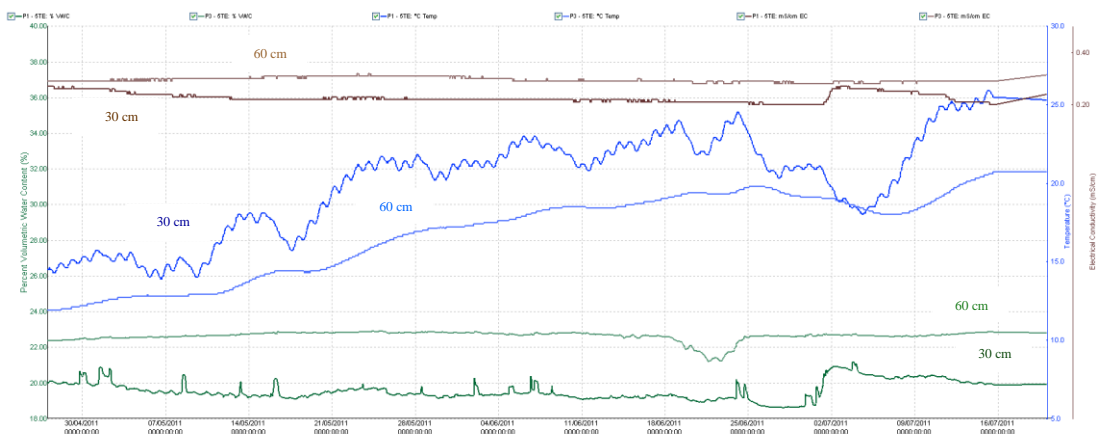
3. ábra. Hőmérsékleti adatok (2011-2014); (a) havonkénti átlaghőmérséklet, (b) napi átlaghőmérséklet (Martonvásár, 2011-2014)



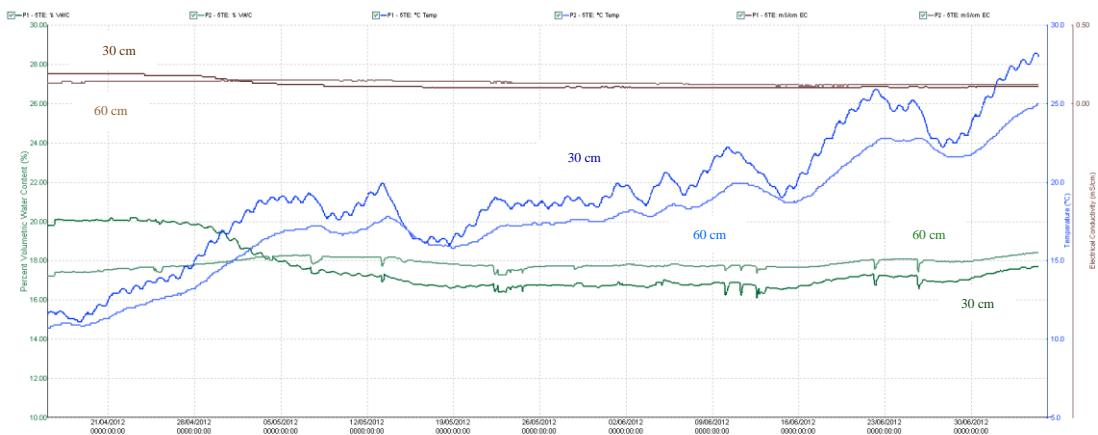
4. ábra. Maximum hőmérsékleti adatok (Martonvásár, 2011-2014)



## M5. A kísérletek talajnedvességi adatai

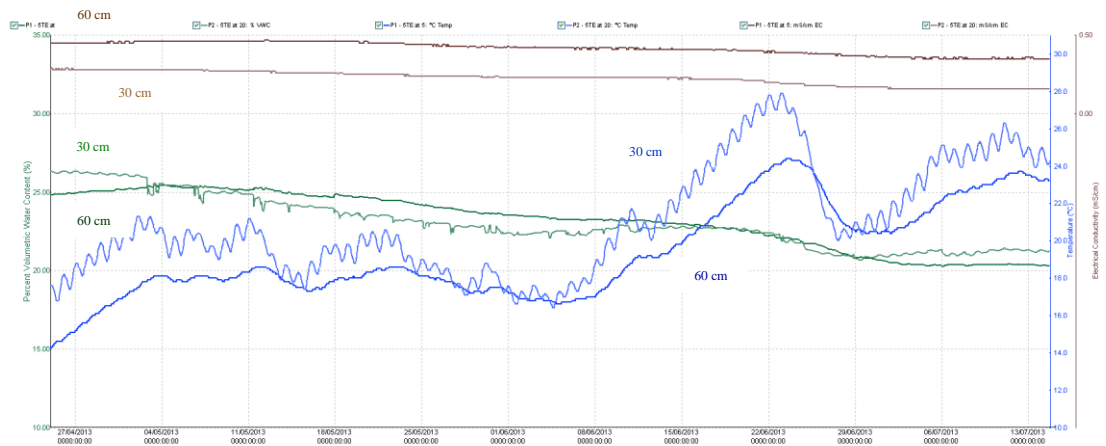


1. ábra. A talajnedvesség—, talajhőmérséklet— és elektromos vezetőképesség— alakulása 30 és 60 cm mélységben a természetes csapadékelátottságú ismétlésekben (GWA panel, 2011)

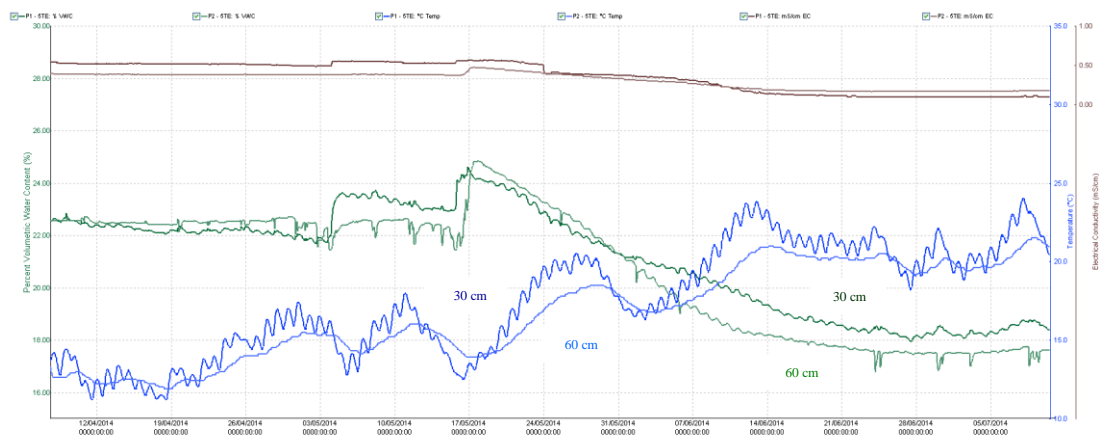


2. ábra. A talajnedvesség—, talajhőmérséklet— és elektromos vezetőképesség— alakulása 30 és 60 cm mélységben a természetes csapadékelátottságú ismétlésekben (GWA panel, 2012)

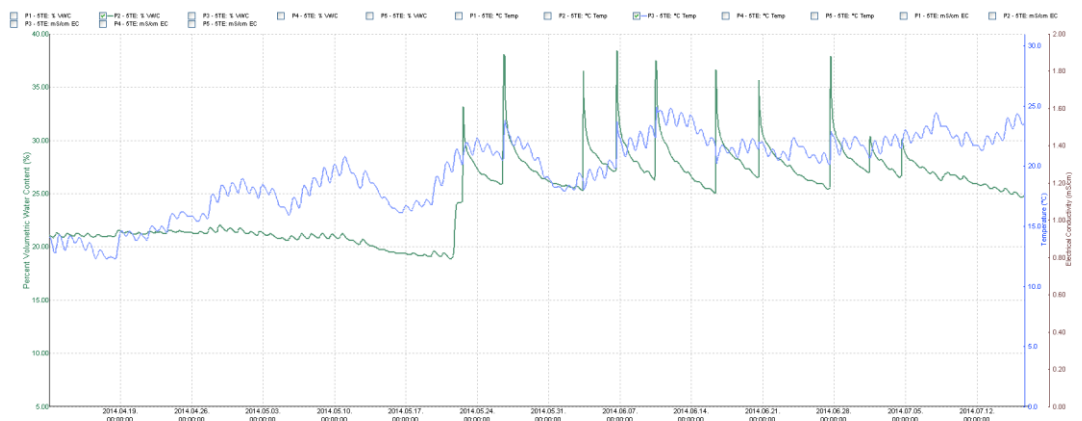




3. ábra. A talajnedvesség—, talajhőmérséklet— és elektromos vezetőképesség— alakulása 30 és 60 cm mélységben a természetes csapadékelletottságú ismétlésekben (GWA panel és NILs kísérlet, 2013)



4. ábra. A talajnedvesség—, talajhőmérséklet— és elektromos vezetőképesség— alakulása 30 és 60 cm mélységben a természetes csapadékelletottságú ismétlésekben (NILs kísérlet, 2014)



5. ábra. A talajnedvesség— és talajhőmérséklet— alakulása 30cm mélységben az öntözött kezelésben (NILs-RS kísérlet, 2014)

## M6. A gabonafélék fejlődési szakaszai (Zadoks-skála)

Kód	Általános leírás	Kód	Általános leírás
CSÍRÁZÁS		34	4.nódusz megjelenése
0	Száraz szem	35	5.nódusz megjelenése
1	Duzzadás kezdete	36	6.nódusz megjelenése
3	Duzzadás vége	37	Zászlóslevél éppen látható
5	Gyököcske megjelenése	39	Zászlóslevél nyelvecskéje éppen látható
7	Sziklevél megjelenése	KALÁSZ HASBAN	
9	Levél megjelenése a koleoptil csúcán	41	A zászlóslevél hüvelye megnyílik
CSÍRANÖVÉNY NÖVEKEDÉSE		43	A hasban látó kalász duzzadása éppen látható
10	Első levél kiemelkedik a koleoptilból	45	A hasban lévő kalász megduzzadt
11	Első levél kiterülése	47	A zászlóslevél hüvelye kinyílik
12	2.levél kiterülése	49	Az első szálkák láthatóak
13	3.levél kiterülése	VIRÁGZAT MEGJELENÉSE	
14	4.levél kiterülése	50	Első kalászká megjelenése
15	5. levél kiterülése	53	Virágzat negyede kiemelkedett
16	6. levél kiterülése	55	Virágzat fele kiemelkedett
17	7. levél kiterülése	57	Virágzat háromnegyede kiemelkedett
18	8. levél kiterülése	59	A virágzat kiemelkedése befejeződött
19	9 vagy több levél kifejlődése	VIRÁGZÁS	
BOKROSODÁS		61	Virágzás kezdete
20	Csak főhajtás	65	Virágzás félig megtörtént
21	Főhajtás és egy oldalhajtás	69	Virágzás befejeződött
22	Főhajtás és 2 oldalhajtás	TEJESÉRÉS	
23	Főhajtás és 3 oldalhajtás	71	Vizesérés
24	Főhajtás és 4 oldalhajtás	73	Korai tejesérés
25	Főhajtás és 5 oldalhajtás	75	Tejesérés közepe
26	Főhajtás és 6 oldalhajtás	77	Késői tejesérés
27	Főhajtás és 7 oldalhajtás	VIASZÉRÉS	
28	Főhajtás és 8 oldalhajtás	83	Korai viaszérés
29	Főhajtás és 9 vagy több oldalhajtás	85	Puha táplálósövet, viaszérés vége
SZÁRNÖVEKEDÉS		87	Kemény táplálósövet
30	Pseudo (ál) szár megjelenése	ÉRÉS	
31	Első nódusz megjelenése	91	A szem kemény (nehezen felezhető)
32	2.nódusz megjelenése	92	A szem kemény (nem felezhető)
33	3.nódusz megjelenése	95	Nyugalmi állapot

5. melléklet. Gabonafélék fejlődési stádiumai a Zadoks skála szerinti besorolásban Zadoks *et al.* (1974) alapján

**M7. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája, valamint a genotípus, kezelés és interakciójuk hatása a különböző évjáratokban (GWA panel)**

	Év	Genotípus szám	Genotípus	Kezelés	G x K	Öntözetlen		Öntözött	
						(átlag)	(min max)	(átlag)	(min max)
<b>Kalászos</b>	2011		<,001	0,840	0,001	142,11	140-145	142,08	140,5-145,5
	2012	100	<,001	<,001	0,437	138,73	135-144,7	137,41	133,5-144,5
	2013		<,001	<,001	0,999	149,50	146-156,3	149,2	144,5-155,5
<b>Virágzás</b>	2011		<,001	0,009	0,066	146,72	144,7-150	146,10	143,5-149,5
	2012	20	<,001	0,712	0,958	143,19	139,7-147	143,19	140,5-147
	2013		<,001	0,049	0,066	154,30	151-158,3	154,00	150,5-159,5
<b>Érés</b>	2011		0,072	<,001	0,161	187,10	185,7-189	189,15	187-193
	2012	20	0,004	<,001	0,338	177,38	175-179,3	182,20	179,5-186
	2013		0,379	<,001	0,062	190,50	189,7-191	191,60	191-193
<b>FLC</b>	2011		<,001	<,001	0,226	34,40	23,2-48,1	38,36	27,2-51,3
	2012	100	<,001	<,001	0,109	27,43	19,2-36,4	35,17	21,7-47,3
	2013		<,001	<,001	0,998	35,82	23,1-61,4	40,43	27,2-73,1
<b>BE</b>	2011		<,001	<,001	0,628	49,38	35,3-66,6	55,05	40,3-68,2
	2012	100	<,001	<,001	0,140	39,06	27,3-52,7	52,59	36,4-69,3
	2013		<,001	<,001	0,945	54,25	41,1-97,3	58,77	44,4-110,3
<b>TE</b>	2011		<,001	<,001	0,745	54,44	41,7-72,3	60,58	45,2-74,3
	2012	100	<,001	<,001	0,122	42,93	30,3-57,1	58,08	39,1-75,3
	2013		<,001	<,001	0,925	58,89	46,3-105,1	64,70	48,3-80,4
<b>EL</b>	2011		<,001	<,001	0,124	5,06	3,1-10,4	5,53	2,8-16,3
	2012	100	<,001	<,001	0,069	3,77	2,1-5,7	5,58	3,3-12,1
	2013		0,151	<,001	0,015	4,50	2,5-8,3	5,90	4,2-10,1
<b>FTN</b>	2011		0,071	0,029	0,002	358,21	268-510,6	382,65	277-1641
	2012	100	0,981	<,001	0,853	269,00	110-530	477,00	214-1096
	2013		<,001	<,001	0,007	389,80	200-620	457,00	233-760
<b>SPAD45</b>	2011		<,001	0,502	0,008	44,78	39,37-52,37	45,11	40,25-50,75
	2012	100	0,002	0,108	0,036	46,74	37,90-56,80	47,87	32,20-57,60
	2013		<,001	0,119	0,886	41,01	21,60-55,30	40,61	31,70-52,50
<b>SPAD65</b>	2011		<,001	<,001	0,217	44,95	38,43-53,50	48,73	40,00-56,20
	2012	100	<,001	0,046	0,102	47,97	43,30-59,30	51,49	35,90-62,90
	2013		<,001	0,408	0,410	46,88	26,60-64,40	46,77	38,80-56,90
<b>SPAD77</b>	2011		<,001	0,043	0,514	41,90	15,37-54,20	46,19	20,20-58,85
	2012	100	<,001	<,001	0,104	43,91	31,00-57,00	49,93	34,20-69,30
	2013		0,008	0,027	0,239	36,51	20,10-49,10	40,10	20,40-58,00
<b>SPAD83</b>	2011		0,874	<,001	0,038	6,98	3,13-18,50	22,45	11,20-40,30
	2012	100	0,685	<,001	0,145	7,11	2,40-17,00	27,77	10,00-46,30
	2013		0,636	0,029	0,205	15,90	10,90-36,10	25,10	15,10-36,50
<b>SPAD85</b>	2011		0,194	<,001	0,004	3,27	1,27-6,43	7,17	3,80-16,00
	2012	100	0,762	<,001	0,426	3,05	0,10-7,40	14,82	2,20-22,50
	2013		0,383	<,001	0,605	5,25	0,90-15,10	10,84	5,30-17,90
<b>AUSDC</b>	2011		<,001	<,001	0,250	1234,81	734,9-1635	1561,46	1320-2355
	2012	100	0,015	<,001	0,017	1699,00	1408-2118	2047,00	1458-2733
	2013		<,001	0,002	0,614	1723,27	1235-2296	1752,11	1351-2143
<b>NDVI45</b>	2011		0,053	<,001	0,135	0,40	0,27-0,50	0,60	0,21-0,79
	2012	20	0,046	<,001	0,030	0,53	0,38-0,65	0,63	0,21-0,79
	2013		<,001	0,782	0,050	0,31	0,23-0,47	0,31	0,23-0,41
<b>NDVI65</b>	2011		0,240	<,001	0,072	0,29	0,22-0,35	0,55	0,34-0,78
	2012	20	0,087	<,001	0,576	0,40	0,27-0,50	0,58	0,37-0,78
	2013		0,004	<,001	0,595	0,49	0,38-0,64	0,53	0,42-0,69
<b>NDVI83</b>	2011		<,001	<,001	<,001	0,17	0,12-0,24	0,41	0,15-0,71
	2012	20	0,805	<,001	0,617	0,29	0,22-0,35	0,50	0,34-0,71
	2013		0,003	<,001	0,794	0,32	0,21-0,45	0,49	0,38-0,64
<b>AUVIC</b>	2011		0,002	<,001	<,001	8,49	6,66-9,83	16,99	10,65-25,51
	2012	20	0,239	<,001	0,628	14,46	11,28-17,43	22,18	15,21-29,98
	2013		0,002	<,001	0,580	14,24	10,57-17,96	16,49	13,41-21,33

7. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterek leíró statisztikája, valamint a genotípus, kezelés és interakciójuk hatása a különböző évjáratokban (Martonvásár, 2011-2013)

## M7. Folytatás az előző oldalról

	Év	Genotípus szám	Genotípus	Kezelés	G x K	Öntözetlen		Öntözött	
						(átlag)	(min max)	(átlag)	(min max)
<b>GY</b>	2011		<,001	<,001	0,009	3,16	2,08-3,73	4,74	3,52-6,87
	2012	100	<,001	<,001	<,001	3,24	1,67-4,26	3,80	2,71-5,99
	2013		<,001	0,057	0,005	3,74	3,00-4,79	3,87	3,06-5,22
<b>TGW</b>	2011		<,001	0,081	0,159	51,27	43,62-57,36	51,85	44,62-59,68
	2012	100	<,001	<,001	0,115	48,67	40,89-56,02	41,72	33,70-53,66
	2013		<,001	0,062	0,398	50,47	36,79-52,19	52,05	30,20-56,81
<b>SW</b>	2011		<,001	<,001	0,322	3,32	3,03-3,53	3,36	3,10-3,60
	2012	100	<,001	<,001	0,003	3,25	2,90-3,50	3,09	2,75-3,35
	2013		<,001	<,001	<,001	3,15	2,80-3,46	3,05	2,80-3,30
<b>SL</b>	2011		<,001	<,001	0,012	6,91	6,35-7,50	6,97	6,26-7,40
	2012	100	<,001	<,001	0,286	7,35	6,70-7,83	7,19	6,55-7,80
	2013		<,001	<,001	0,985	6,85	6,20-7,50	6,72	6,05-7,40
<b>SKNM</b>	2011		<0,001	<0,001	0,427	11,82	10,27-13,33	12,91	11,67-14,73
	2012	20	<0,001	<0,001	0,822	12,61	10,93-14,53	13,16	10,47-14,87
	2013		0,018	0,083	0,656	11,64	9,00-14,67	11,98	10,00-15,33
<b>SNM</b>	2011		0,007	<0,001	0,467	28,64	16,8-38,33	36,77	31,47-49,27
	2012	20	0,028	<0,001	0,580	24,24	9,40-41,2	32,13	19,13-47,13
	2013		<0,001	0,068	0,473	37,17	24,66-46,00	37,79	28,33-43,66
<b>SWM</b>	2011		0,191	<0,001	0,049	1,58	1,04-2,18	2,06	1,38-2,53
	2012	20	0,123	0,0476	0,734	1,23	0,46-1,93	2,01	0,65-2,40
	2013		0,014	0,394	0,419	1,93	1,33-2,42	2,00	1,81-2,27
<b>BSM</b>	2011		0,333	<0,001	0,360	3,87	0-16,05	0,57	0-4,52
	2012	20	0,433	<0,001	0,979	7,28	0-23,74	1,36	0-6,36
	2013		0,072	0,090	0,704	3,69	0-16,67	2,60	0-13,89
<b>ASM</b>	2011		0,502	0,002	0,440	0,29	0-1,80	0,03	0-0,96
	2012	20	0,141	0,003	0,652	1,77	0-13,41	0,54	0-3,40
	2013		0,478	0,390	0,765	0,90	0-9,67	0,55	0-10,00
<b>P</b>	2011		<,001	<,001	0,317	11,61	9,43-13,93	12,63	9,65-15,70
	2012	100	<,001	<,001	0,976	13,72	11,13-16,93	14,51	11,10-17,50
	2013		<,001	<,001	0,004	14,79	12,13-16,60	14,30	12,10-17,05
<b>HL</b>	2011		<,001	<,001	0,001	82,44	79,30-85,13	80,93	74,8-83,75
	2012	100	0,017	<,001	0,549	79,46	76,06-82,56	74,31	64,80-80,55
	2013		<,001	<,001	<,001	84,02	81,26-86,40	80,48	74,90-83,55
<b>Z</b>	2011		<,001	<,001	0,192	39,79	32,90-53,76	45,30	33,65-57,8
	2012	100	0,006	<,001	<,001	79,42	36,73-62,23	74,74	36,85-60,65
	2013		<,001	<,001	0,012	56,82	44,63-65,33	53,34	40,55-62,85
<b>G</b>	2011		<,001	<,001	0,776	24,76	19,43-32,10	27,61	20,15-35,05
	2012	100	<,001	<,001	0,962	26,77	23,30-36,20	29,54	20,55-37,80
	2013		<,001	<,001	0,001	31,76	26,66-34,86	30,44	25,55-36,05

7. melléklet. A felvételezett terméskomponensek leíró statisztikája, valamint a genotípus, kezelés és interakciójuk hatása a különböző évjáratokban (Martonvásár, 2011-2013)

### M8. A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise és ismételhetőségi értékszám (GWA panel)

	HD	V29_31	V33	FLC	BE	TE	EL	FTN	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	GY	TKW	SW	SL	P	HL	Z	G	
Ismétlések száma	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Évek száma	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
Kezelések száma	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
$\sigma^2_e$	0,70	0,00	0,11	13,67	13,35	14,59	0,86	2634,46	1,58	7,00	11,43	9,09	1,99	3278,21	5,69	0,04	0,07	0,82	6,43	17,26	6,13	
$\sigma^2_E$	29,32***	0,22***	0,05***	2,12***	9,58***	10,67***	ns	1285,36***	6,92***	2,73***	16,52***	95,51***	ns	55,71***	16,39***	0,005***	0,09***	1,437***	7,38***	31,50***	4,33***	
$\sigma^2_K$	0,115***	0,004***	ns	8,91***	12,93***	18,14***	0,34***	680,09***	ns	0,45***	5,87***	62,32***	22,7***	1509,47***	2,705***	0,005***	0,0012***	0,00	4,72***	ns	ns	
$\sigma^2_G$	1,89***	ns	ns	3,72***	6,86***	6,70***	0,05***	1,52***	3,29***	5,78***	7,73***	2,37***	ns	504,66***	8,02***	0,02***	0,06***	0,53***	0,59***	10,05***	2,85***	
$\sigma^2_{ExK}$	0,248***	ns	0,006***	ns	0,33**	ns	0,11***	166,68*	1,06***	2,77***	ns	52,66***	7,09***	3481,18***	9,70***	0,006***	0,006***	0,31***	1,53***	12,68***	2,87***	
$\sigma^2_{ExG}$	0,50***	0,03**	0,04***	1,37**	4,21***	4,48***	ns	770,34***	1,45***	ns	3,09***	ns	ns	491,03***	2,52***	0,02***	0,04***	0,13***	0,35	4,68***	1,59***	
$\sigma^2_{KxG}$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1,31**	ns	ns	ns	ns	0,70*	ns	0,39***	0,02***	ns	ns	0,22	0,05	ns	
$\sigma^2_{ExKxG}$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	3,068***	ns	ns	ns	9,04*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,47	0,00	ns
$h^2$	0,891	0,000	0,163	0,731	0,749	0,731	0,463	0,000	0,713	0,838	0,734	0,496	0,001	0,534	0,849	0,419	0,076	0,845	0,447	0,786	0,752	

8. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termés paraméterek variancia komponensei ( $\sigma^2_e$ -maradványérték,  $\sigma^2_E$ -év,  $\sigma^2_K$ -kezelés,  $\sigma^2_G$ -genotípus variancia,  $\sigma^2_{ExK}$ -év x kezelés,  $\sigma^2_{ExG}$ -év x genotípus,  $\sigma^2_{KxG}$ -kezelés x genotípus,  $\sigma^2_{ExKxG}$ -év x kezelés x genotípus interakció), és örökölhetőségi/ismételhetőségi értéke ( $h^2$ ) száz durumbúza fajta esetén (GWA panel, 2011-2013)

### M9. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (GWA panel)

	V29_31	V33	HD	TT-HD	GY	TKW	P	G	Z	HL	SSI	STI	SW	SL	FLC	BE	TE	EL	FTN	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	AUSDC
<b>V29_31</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,26	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>V33</b>	ns		ns	ns	0,27	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,26	0,30	0,30	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>HD</b>	ns	ns		0,74	0,65	ns	-0,49	-0,43	-0,40	ns	-0,33	0,40	-0,26	ns	0,36	0,22	0,22	ns	ns	ns	ns	ns	0,46	0,22	0,32
<b>TT-HD</b>	ns	ns	0,74		0,28	ns	-0,29	-0,21	ns	ns	ns	ns	-0,25	ns	0,37	ns	ns	ns	ns	ns	0,25	ns	0,22	ns	0,28
<b>GY</b>	ns	0,27	0,65	0,28		ns	-0,64	-0,57	-0,58	ns	-0,43	0,74	ns	ns	0,36	0,41	0,43	ns	ns	ns	ns	ns	0,44	0,20	0,31
<b>TKW</b>	ns	ns	ns	ns	ns		0,29	0,32	0,30	ns	ns	ns	0,83	0,73	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>P</b>	ns	ns	-0,49	-0,29	-0,64	0,29		0,93	0,91	ns	ns	-0,63	0,39	ns	-0,24	-0,26	-0,29	-0,22	ns	ns	ns	ns	-0,25	ns	ns
<b>G</b>	ns	ns	-0,43	-0,21	-0,57	0,32	0,93		0,87	0,20	ns	-0,54	0,40	ns	ns	ns	-0,22	-0,22	0,23	ns	ns	ns	-0,21	ns	ns
<b>Z</b>	ns	ns	-0,40	ns	-0,58	0,30	0,91	0,87		ns	ns	-0,56	0,34	ns	ns	-0,24	-0,28	-0,28	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>HL</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,20	ns		ns	ns	ns	-0,26	ns	0,20	0,21	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>SSI</b>	ns	ns	-0,33	ns	-0,43	ns	ns	ns	ns	ns		0,20	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,28	ns	-0,28
<b>STI</b>	ns	ns	0,40	ns	0,74	ns	-0,63	-0,54	-0,56	ns	ns		-0,22	ns	0,26	0,37	0,39	ns	ns	ns	ns	ns	0,24	ns	ns
<b>SW</b>	ns	ns	-0,26	-0,25	ns	0,83	0,39	0,40	0,34	ns	ns	-0,22		0,31	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>SL</b>	ns	ns	ns	ns	ns	0,73	ns	ns	ns	-0,26	ns	ns	0,31		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>FLC</b>	ns	0,26	0,36	0,37	0,36	ns	-0,24	ns	ns	ns	ns	0,26	ns	ns		0,75	0,75	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>BE</b>	ns	0,30	0,22	ns	0,41	ns	-0,26	ns	-0,24	0,20	ns	0,37	ns	ns	0,75		0,99	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>TE</b>	ns	0,30	0,22	ns	0,43	ns	-0,29	-0,22	-0,28	0,21	ns	0,39	ns	ns	0,75	0,99		ns	ns	ns	ns	ns	0,21	ns	ns
<b>EL</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,22	-0,22	-0,28	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>FTN</b>	0,26	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,23	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>SPAD45</b>	ns	-0,31	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		0,71	0,46	ns	ns	0,55
<b>SPAD65</b>	ns	ns	ns	0,25	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,71		0,47	ns	ns	0,67
<b>SPAD77</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,46	0,47		ns	ns	0,82
<b>SPAD83</b>	ns	ns	0,46	0,22	0,44	ns	-0,25	-0,21	ns	ns	-0,28	0,24	ns	ns	ns	ns	0,21	ns	ns	ns	ns	ns		0,42	0,46
<b>SPAD85</b>	ns	ns	0,22	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,42		0,28
<b>AUSDC</b>	ns	ns	0,32	0,28	0,31	ns	ns	ns	ns	ns	-0,28	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,55	0,67	0,82	0,46	0,28	

9. melléklet. A vizsgált egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és terméskomponensek Pearson-féle korrelációs együtthatói természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel, 2011). A korrelációs koefficiens kritikus r-értékei: 0.1946 ( $P \leq 0.05$ ); 0.2540 ( $P \leq 0.01$ ); 0.3211 ( $P \leq 0.001$ )

**M10. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel)**

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
<b>Eigen érték</b>	9,92	2,57	2,03	1,73	1,36	1,02
<b>Összesített variancia (%)</b>	39,67	10,29	8,12	6,92	5,44	4,07
<b>Faktor – változó korreláció</b>						
<b>AUSDC</b>	-0,89	ns	-0,37	ns	ns	ns
<b>BE</b>	-0,64	-0,52	0,46	ns	ns	ns
<b>EL</b>	ns	ns	ns	-0,49	ns	-0,37
<b>FLC</b>	-0,44	-0,57	0,48	ns	ns	ns
<b>FTN</b>	-0,47	ns	ns	ns	0,39	ns
<b>G</b>	-0,84	ns	ns	0,32	ns	ns
<b>GY</b>	-0,62	ns	ns	ns	ns	-0,39
<b>HD</b>	-0,95	ns	ns	ns	ns	ns
<b>HL</b>	-0,65	ns	ns	ns	0,32	ns
<b>P</b>	-0,85	ns	ns	0,31	ns	ns
<b>SL</b>	ns	-0,55	ns	0,43	ns	-0,37
<b>SPAD45</b>	0,41	ns	-0,42	-0,56	ns	ns
<b>SPAD65</b>	-0,39	ns	-0,62	-0,30	ns	ns
<b>SPAD77</b>	0,38	-0,38	-0,42	-0,30	ns	ns
<b>SPAD83</b>	-0,95	ns	ns	ns	ns	ns
<b>SPAD85</b>	-0,43	-0,34	ns	ns	ns	ns
<b>SSI</b>	ns	ns	ns	-0,33	-0,41	0,61
<b>STI</b>	-0,71	ns	ns	ns	ns	ns
<b>SW</b>	0,60	-0,54	ns	ns	ns	ns
<b>TE</b>	-0,62	-0,52	0,49	ns	ns	ns
<b>TGW</b>	0,67	-0,57	ns	0,31	ns	ns
<b>TT-HD</b>	-0,91	ns	ns	ns	ns	ns
<b>V29-31</b>	ns	ns	ns	ns	0,64	ns
<b>V33</b>	0,41	-0,46	ns	ns	0,52	ns
<b>Z</b>	-0,88	ns	ns	ns	ns	ns

10. melléklet. A vizsgált egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságok és termés főkomponens analízisének adatai természetes csapadékellátottság esetén (GWA panel, 2011-2013)

**M11. Az évjárat, genotípus, kezelés valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett tulajdonságokra (Core panel)**

	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVB3	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Évjárat (É)</i>	2	4941,39	3139,7	2153,94	449,65	17,38	379,33	95,73	30,74	62,36	421,2	21,23	522,62	86,33	135,9	277,49	220,37	87,68
<i>Genotípus (G)</i>	19	56,16	34,79	3,17	2,16	3,67	12,61	7,77	6,10	5,24	2,3	1,28	4,27	2,87	3	7,18	3,04	7,13
<i>Kezelés (K)</i>	1	45,71	7	276,23	0,55	1,13	317,57	0,03	9,38	27,46	291,1	321,04	171,87	481,71	933,12	197,56	702,02	193,19
<i>G x K</i>	19	1,69	1,12	1,96	1,52	1,51	2,07	0,95	0,74	1,26	1,25	1,24	3,05	1,84	3,03	1,63	2,3	0,85
<i>G x É</i>	38	5,69	2,43	2,15	2,44	2,45	2,14	1,85	1,42	1,93	1,13	0,88	1,18	1,54	2,03	1,54	1,52	1,38
<i>É x K</i>	2	15,15	3,67	54,94	1,88	0,92	36,62	5,03	9,62	3,85	72,03	37,12	68,12	83,22	15,52	34,2	79,95	9,28
<i>G x É x K</i>	38	1,68	1,35	1,53	0,91	0,69	1,91	1,53	1,13	1,46	1,24	0,81	1,32	0,81	2,28	1,61	1,28	1,13
<b>F pr.</b>	<b>d.f.</b>	<b>HD</b>	<b>FD</b>	<b>MD</b>	<b>V29-31</b>	<b>V33</b>	<b>GF</b>	<b>SPAD45</b>	<b>SPAD65</b>	<b>SPAD77</b>	<b>SPAD83</b>	<b>SPAD85</b>	<b>NDVI45</b>	<b>NDVI65</b>	<b>NDVB3</b>	<b>AUSDC</b>	<b>AUVIC</b>	<b>FLC</b>
<i>Évjárat (É)</i>	2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,199	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	0,009	<0,001	0,459	0,29	<0,001	0,862	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	0,039	0,336	0,012	0,082	0,086	0,007	0,526	0,772	0,213	0,218	0,227	<0,001	0,02	<0,001	0,051	0,002	0,648
<i>G x É</i>	38	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,066	0,002	0,289	0,666	0,231	0,031	<0,001	0,031	0,034	0,081
<i>É x K</i>	2	<0,001	0,027	<0,001	0,155	0,398	<0,001	0,007	<0,001	0,023	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x É x K</i>	38	0,039	0,096	0,033	0,63	0,917	0,002	0,032	0,288	0,049	0,173	0,771	0,115	0,784	<0,001	0,019	0,138	0,288
<b>F pr.</b>	<b>d.f.</b>	<b>BE</b>	<b>TE</b>	<b>EL</b>	<b>FTN</b>	<b>SKNM</b>	<b>SNM</b>	<b>SWM</b>	<b>BSM</b>	<b>ASM</b>	<b>SL</b>	<b>SW</b>	<b>GY</b>	<b>TGW</b>	<b>G</b>	<b>HL</b>	<b>P</b>	<b>Z</b>
<i>Évjárat (É)</i>	2	178,6	172,46	16,54	8,18	49,5	20,41	93,18	9,34	11,86	648,2	326,44	36,47	317,46	113,62	266,23	218,57	246,21
<i>Genotípus (G)</i>	19	7,55	6,95	1,82	0,6	7,49	3,17	2,89	1,9	1,33	94,74	51,43	3,81	32,75	5,47	3,96	6,95	7,76
<i>Kezelés (K)</i>	1	338,69	386,35	206	46,28	48,68	123,57	24,75	60,71	12,08	65,10	189,46	144,57	254,74	0,02	238,85	0,23	2,67
<i>G x K</i>	19	1,13	1,04	1,55	0,65	0,6	0,69	0,93	0,6	0,79	2,73	2,48	1,16	1,01	1,27	1,04	1,4	1,56
<i>G x É</i>	38	1,51	1,38	1,18	0,57	1,31	1,20	0,92	1,36	1,33	2,20	2,48	1,04	1,6	1,62	1,99	1,26	1,44
<i>É x K</i>	2	56,86	55,85	22,53	13,6	5,52	9,21	19,42	10,15	2,79	35,4	74,91	66,6	88,48	29,94	23,73	28,25	53,76
<i>G x É x K</i>	38	0,99	1,02	1,7	0,56	0,95	1,10	1,23	0,68	0,83	1,17	1,86	1,19	1,28	0,88	1,43	0,93	0,95
<b>F pr.</b>	<b>d.f.</b>	<b>BE</b>	<b>TE</b>	<b>EL</b>	<b>FTN</b>	<b>SKNM</b>	<b>SNM</b>	<b>SWM</b>	<b>BSM</b>	<b>ASM</b>	<b>SL</b>	<b>SW</b>	<b>GY</b>	<b>TGW</b>	<b>G</b>	<b>HL</b>	<b>P</b>	<b>Z</b>
<i>Évjárat (É)</i>	2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	0,022	0,902	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	0,169	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,886	<0,001	0,628	0,104
<i>G x K</i>	19	0,322	0,417	0,073	0,866	0,907	0,825	0,542	0,903	0,719	<0,001	<0,001	0,298	0,449	0,209	0,417	0,128	0,067
<i>G x É</i>	38	0,037	0,083	0,229	0,981	0,123	0,215	0,608	0,09	0,108	<0,001	<0,001	0,414	0,02	0,018	0,001	0,159	0,058
<i>É x K</i>	2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,064	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x É x K</i>	38	0,498	0,449	0,01	0,982	0,552	0,33	0,178	0,925	0,746	0,24	0,003	0,217	0,144	0,672	0,061	0,588	0,559

11. melléklet. Az évjárat, genotípus, kezelés valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterekre, illetve a vizsgált terméskomponensekre Khí-négyzet teszt alkalmazásával, 20 kiemelt fajta esetén (Core panel, 2011-2013). A REML analízis során F=Wald statisztika/d.f., a három év kombinációjában



## M12. A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise (Core panel)

a.) 2011

	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	4,179	6,406	5,947	0,040	0,114	7,560	19,972	42,204	147,800	28,160	9,377	0,011	0,005	0,014	89357	7,052	21,930
<i>Kezelés (K)</i>	1	0,667	15,360	61,440	0,060	0,060	138,240	5,339	540,171	66,930	6341,400	434,861	0,960	1,602	1,479	2848367	1730,690	604,010
<i>G x K</i>	19	1,102	1,676	5,763	0,060	0,130	5,545	10,679	13,782	23,560	59,430	5,118	0,010	0,007	0,021	22275	11,747	12,090
F pr.	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	0,026	-	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,875	0,134	0,053	0,240	<0,001	<0,001	0,002	0,031
<i>Kezelés (K)</i>	1	0,141	<0,001	<0,001	-	0,250	<0,001	0,291	<0,001	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	<0,001	0,067	0,032	-	<0,001	0,014	0,009	0,087	0,443	0,211	0,700	0,135	0,072	<0,001	0,474	<0,001	0,425
	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	35,300	40,320	1,156	3863,000	1,976	43,290	0,099	19,500	0,144	0,382	0,052	0,598	58,045	9,770	4,572	1,458	61,050
<i>Kezelés (K)</i>	1	1112,480	1241,280	3,527	6977,000	28,369	1589,150	5,468	261,128	1,579	0,089	0,016	68,578	23,928	300,192	34,897	39,835	1215,240
<i>G x K</i>	19	13,470	13,300	0,779	2869,000	0,241	18,780	0,130	8,552	0,153	0,028	0,006	0,485	5,591	4,383	1,613	0,702	24,170
F pr.	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	0,010	0,007	0,011	0,675	<0,001	0,007	0,191	0,003	0,502	<0,001	<0,001	0,030	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	<0,001	0,012	0,228	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,009	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	0,648	0,735	0,128	0,884	0,427	0,467	0,049	0,360	0,440	<0,001	0,001	0,101	0,020	0,464	0,002	0,114	0,065

12. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterek, illetve a vizsgált terméskomponensek varianciaanalízise (MQ értékek és szignifikancia szint) húsz fajta esetén öntözött és öntözetlen kezelésben (Core panel, 2011)

**M12.** A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise (Core panel)

b.) 2012

	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	17,419	17,858	7,837	0,234	0,234	6,518	34,940	42,210	54,150	28,810	13,410	0,011	0,008	0,003	65389	7,485	65,160
<i>Kezelés (K)</i>	1	37,002	0,202	530,160	0,240	0,240	509,682	34,320	6,430	861,360	9908,840	3414,370	0,165	0,720	0,916	3042946	1206,732	1510,510
<i>G x K</i>	19	1,261	0,717	3,335	0,089	0,089	4,324	24,010	25,070	57,300	51,020	18,940	0,011	0,005	0,003	64791	5,092	19,390
F pr.	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	0,004	0,139	0,139	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,685	0,762	0,046	0,087	0,805	0,015	0,239	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	0,712	<0,001	0,227	0,227	<0,001	0,108	0,046	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	0,300	0,958	0,338	0,924	0,924	0,040	0,036	0,102	0,104	0,145	0,426	0,030	0,576	0,617	0,017	0,628	0,109
	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	82,930	87,360	0,766	19467	2,209	55,090	0,205	28,500	5,323	0,341	0,065	0,531	62,306	31,980	16,780	3,610	64,620
<i>Kezelés (K)</i>	1	5316,330	6680,010	77,760	858665	6,121	1545,400	0,071	865,890	35,543	0,976	0,829	13,617	1236,310	53,580	565,900	3,110	463,060
<i>G x K</i>	19	33,570	41,630	1,385	30189	0,299	41,140	0,106	11,740	3,097	0,024	0,010	0,443	8,048	9,100	9,960	1,024	18,200
F pr.	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	<0,001	0,981	<0,001	0,280	0,123	0,433	0,141	<0,001	<0,001	0,038	<0,001	0,026	0,075	0,060	0,111
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	<0,001	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	0,476	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,076	<0,001	0,230	0,002
<i>G x K</i>	19	0,164	0,149	0,128	0,853	0,822	0,580	0,734	0,979	0,652	0,216	0,039	0,106	0,324	0,923	0,502	0,959	0,979

12. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterek, illetve a vizsgált terméskomponensek varianciaanalízise (MQ értékek és szignifikancia szint) húsz fajta esetén öntözött és öntözetlen kezelésben (Core panel, 2012)

**M12.** A felvételezett tulajdonságok varianciaanalízise (Core panel)  
c.) 2013

	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	22,371	20,305	0,574	0,192	0,665	19,208	59,910	76,900	78,630	115,610	14,900	0,003	0,008	0,007	71605	6,645	46,590
<i>Kezelés (K)</i>	1	2,282	4,507	34,560	0,015	0,015	64,027	41,610	3,170	205,920	31,050	795,340	0,000	0,045	0,638	79497	129,619	454,140
<i>G x K</i>	19	0,969	1,752	0,546	0,078	0,117	2,237	10,920	18,030	50,410	34,060	11,490	0,002	0,003	0,002	16326	2,218	13,770
<b>F pr.</b>	d.f.	HD	FD	MD	V29-31	V33	GF	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	NDVI45	NDVI65	NDVI83	AUSDC	AUVIC	FLC
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	0,163	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,014	<0,001	0,331	<0,001	0,004	0,003	<0,001	0,002	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	0,078	0,056	<0,001	0,551	0,741	<0,001	0,068	0,758	0,021	0,319	<0,001	0,782	<0,001	<0,001	0,042	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	0,178	0,126	0,201	0,034	0,633	0,182	0,581	0,930	0,180	0,368	0,601	0,050	0,595	0,794	0,595	0,580	0,465
	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	64,440	65,560	0,637	9721,000	2,723	45,190	0,084	18,500	4,487	0,366	0,089	0,602	54,804	12,689	5,403	2,620	67,506
<i>Kezelés (K)</i>	1	440,330	782,040	48,735	194148,000	4,111	244,910	0,029	33,220	3,368	0,510	0,269	0,105	669,483	19,153	299,203	3,604	220,342
<i>G x K</i>	19	12,570	14,100	0,921	6520,000	1,105	13,270	0,042	8,880	3,321	0,009	0,007	0,237	3,771	1,401	1,557	0,309	6,027
<b>F pr.</b>	d.f.	BE	TE	EL	FTN	SKNM	SNM	SWM	BSM	ASM	SL	SW	GY	TGW	G	HL	P	Z
<i>Genotípus (G)</i>	19	<0,001	<0,001	0,184	0,057	0,018	<0,001	0,014	0,072	0,478	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Kezelés (K)</i>	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,083	<0,001	0,394	0,090	0,390	<0,001	<0,001	0,470	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>G x K</i>	19	0,323	0,371	0,025	0,325	0,656	0,473	0,419	0,704	0,765	0,345	0,025	0,299	0,079	<0,001	0,004	0,001	0,120

12. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterek, illetve a vizsgált terméskomponensek varianciaanalízise (MQ értékek és szignifikancia szint) húsz fajta esetén öntözött és öntözetlen kezelésben (Core panel, 2013)

# M13. A felvételezett tulajdonságok átlagértékei kezelésként és fajtánként (Core panel)

a.) 2011

Genotípus	HD		FD		MD		GF83		BSM		FTN		TE		SPADR3		NDVI65	
	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W
1807	142,33d	145a	146,66f	149,5a	187,66c	193a	28,33cd	33,34bc	4,42de	0,50c	32,8d	407,33b	52,33e	66a	4,8de	18,45g	0,30bc	0,49fg
AMEDAKUL-1	142,67c	142f	147e	146f	187,66c	188e	28,04d	31,91d	13,33a	1,85b	36,2c	381,33c	49g	56,66g	5,2de	26,5d	0,32ab	0,48fg
CHABHA88	142e	141,5g	146,33g	146f	186,33c	188,66d	28,67cd	31,80de	3,49e	0,83c	38,06bd	396bc	55,33c	56,66g	7,97cd	20,45fg	0,31b	0,54e
CHAM-1	143b	142,5c	148,43b	146,5e	188,55b	189d	30,00d	31,57de	0,54g	0,00	40,2ab	421,33ab	58,67ab	65,33a	13,5a	36,85a	0,31b	0,47g
CICCIO	141,33g	141,5g	145,66f	145b	187,66c	189d	26,33f	33,18bc	3,90e	1,35bc	33,23cd	332,66ef	51,33ef	56,33c	11,13c	20,2f	0,32ab	0,45g
GALLARETA	142,33d	141h	148c	147d	187d	190c	29,33bc	31,11e	2,57f	1,19bc	38,66bd	407,99b	52e	58f	5,34c	27,55cd	0,28c	0,56de
HEIDER	143,33c	148c	146,66e	188,53b	192b	28,00d	31,33de	1,52fg	0,26c	40,933a	420ab	53,33de	63bc	7,2cd	20,9f	0,31b	0,60cd	
ITALO	142,33d	141,5g	147e	145,5g	187,66c	187f	28,00d	32,49cd	1,39f	0,00	38,26bd	400bc	52e	53,66d	5,77d	16,15h	0,28c	0,58d
KARIM	142e	141,5g	147e	145,5g	187,66c	187f	28,00d	32,49cd	1,39f	0,00	38,26bd	400bc	52e	53,66d	5,77d	16,15h	0,28c	0,58d
KOFA	144,66a	144b	150a	148b	186,33c	188e	31,33a	32,54cd	4,80de	0,24c	38,26bd	395bc	55,33c	58f	7,78cd	23,25e	0,32ab	0,70a
MARIANA	142e	142,5c	146,33g	147d	187,66c	189d	26,67ef	30,96ef	1,19f	0,53c	35,733cd	364d	59a	62,66c	8,2c	22,5ef	0,27cd	0,67b
MERIDIANO	141,66f	141h	146,33g	145h	186,33c	189d	28,67cd	32,89c	1,79fg	0,00	34,8cd	429,33a	50,33f	59,66e	5,07de	24,15e	0,26cd	0,49fg
MEXICALI75	141,66f	140,5i	146,33g	145h	187d	188e	27,20e	33,53b	5,11d	0,00	34,66cd	356,66de	53de	63bc	4,93de	23,55e	0,26cd	0,46g
MIK1-1	140h	140,5i	144,66k	143,5i	187,66c	187f	28,33cd	34,52a	1,19g	0,00	34,06cd	364d	51,33ef	60,33de	6d	15,5h	0,31b	0,60cd
OMRAB15	142e	141,5g	147e	145h	187,66c	188e	29,00c	32,67c	8,16b	0,53c	38,8b	399bc	53,66d	64b	6,9cd	25,8de	0,31b	0,62c
OUASERL-1	143b	142,5c	148,43b	147d	189a	190c	30,67ab	31,22de	6,78c	3,22a	391,33b	398bc	56,33c	64b	10,2bc	29,2c	0,34a	0,57d
PIETRAFITTA	141h	141,5g	145,33j	145,5g	187d	187f	27,67de	32,56c	4,95d	0,00	33,933d	433,66a	51,33ef	63,66bc	5,2de	19,65fg	0,29bc	0,54e
QUADALEITE	141h	141,5g	145,33j	145,5g	187d	187f	27,67de	32,56c	4,95d	0,00	33,933d	433,66a	51,33ef	63,66bc	5,2de	19,65fg	0,29bc	0,54e
SVEVO	142,33d	143d	147e	147,5c	187d	189d	27,17e	30,58ef	3,16ef	0,48c	32,4d	386,66c	53,66d	60,33de	3,57e	28,2c	0,25d	0,58d
ZEINA1	142,33d	143d	147e	147,5c	187d	189d	27,17e	30,58ef	3,16ef	0,48c	32,4d	386,66c	53,66d	60,33de	3,57e	28,2c	0,25d	0,58d
Átlag	142,17	141,99	146,85	146,03	187,15	188,63	28,11	31,96	3,87f	0,575	363,30	370,78	53,38	60,78	6,96	23,22	0,29	0,55
SzD(P=5,0%)=	0,5147	0,9506	1,4317	1,4317	2,7612	2,1680	2,7612	2,7612	53,3706	4,1032	6,7229	6,7229	6,7229	6,7229	6,7229	6,7229	6,7229	6,7229

Genotípus	NDVI83		AUSDC		AUVIC		GY		TGW		SNM		SWM		SW		SL	
	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W
1807	0,14b	0,27g	938,05g	1395,03g	8,15cd	13,65k	2,96cd	5,66b	43,62m	44,88k	29,33d	36,6d	1,43c	2,12cd	3,2g	3,2g	6,3i	6,45n
AMEDAKUL-1	0,17ab	0,16f	1202,2ef	1526,25e	8,86b	11,90l	3,22bc	4,52e	49,91g	56,31b	21,53h	34,47f	1,28f	2,13cd	3,43a	3,43a	7,17c	7,3c
CHABHA88	0,18ab	0,22h	1290,00d	1469,50g	9,12ab	13,90k	3,47ab	4,24f	49,19h	47,72i	26,82c	33,57f	1,42e	1,87e	3,23f	3,25f	7,03d	6,85j
CHAM-1	0,19a	0,31f	1613,03a	1946,45b	9,10ab	13,75k	3,53ab	5,158c	55,22a	55,40c	34,6a	42,57ab	1,87ab	2,17c	3,43a	3,6a	6,8f	7b
CICCIO	0,18ab	0,19i	1415,32b	1627,58cd	8,82b	11,63j	3,01cd	4,03g	51,40e	53,18e	31,56c	35,44e	1,833b	2,067d	3,4b	3,35d	7,23b	7,15f
GALLARETA	0,18ab	0,28g	1270,93de	2078,95a	8,61bc	15,24j	3,46ab	6,87a	45,18l	55,40c	25,44f	38,13c	1,90h	1,48f	3,3e	3,11	6,9e	7,4h
HEIDER	0,17ab	0,48cd	1209,15ef	1588,30de	8,93ab	18,85ef	3,31b	5,24c	51,73de	52,43f	31,69bc	35,13e	1,22f	2,11cd	3,23f	3,3e	7d	7,05g
ITALO	0,16b	0,55b	1264,73de	1546,95e	8,14c	19,10e	2,88d	4,17fj	44,74i	48,72h	31,89bc	34,77ef	1,62cd	1,84e	3,2g	3,25f	6,77f	6,85j
KARIM	0,19a	0,54b	1303,23d	1319,70h	8,87b	17,47g	3,36b	4,79d	47,92i	49,72g	32,09bc	35,87d	1,72bc	1,91e	3,2g	3,25f	6,87e	6,95i
KOFA	0,18ab	0,58a	1286,35d	1573,90de	9,12ab	22,27a	3,49ab	4,63de	54,30b	53,01c	33,49ab	41,73b	1,64e	2,07d	3,37c	3,4c	7,17c	7,2e
MARIANA	0,16b	0,50c	1281,82d	1432,93g	8,56bc	19,58d	2,152b	3,08cb	47,7d	46,23k	48,42h	27,53e	34,13ef	1,833b	2,22bc	3,2g	3,25f	6,77f
MERIDIANO	0,18ab	0,57ab	1284,43d	1658,95c	8,26c	21,52b	3,08cb	5,17c	51,97d	54,57d	28,82de	35,83d	1,73bc	2,15c	3,3e	3,35d	7,33a	7,3c
MEXICALI75	0,16b	0,46d	1220,15e	1619,65cd	7,67d	15,95i	3,03cd	4,33f	49,91g	45,07k	26,99f	35,27de	1,54d	2,27b	3,33d	3,43b	7,17c	7,25d
MIK1-1	0,18ab	0,43e	1221,60e	1598,68d	7,79cd	15,68h	2,94cd	4,41ef	50,47f	48,22h	28,64e	39,1c	1,50e	2,26bc	3,37c	3,4c	6,77f	6,55m
OMRAB15	0,16b	0,50c	1351,90c	1486,90f	8,55bc	18,97e	3,21bc	4,26f	47,21j	47,69h	29,67d	38,8c	1,73bc	1,88e	3,3e	3,35d	6,43h	6,45n
OUASERL-1	0,17ab	0,54b	1229,22e	1611,78d	8,71bc	20,13c	3,29b	5,30c	52,23d	52,83ef	24,24f	39,43c	1,41e	2,38a	3,33d	3,3e	6,9e	6,85j
PIETRAFITTA	0,16b	0,43e	1137,32f	1659,68c	8,25c	16,56h	2,71de	4,518l	47,16j	22,29g	31,57g	41,45e	2,15cd	2,58a	3,17h	3,15h	7,17c	7,35b
QUADALEITE	0,17ab	0,49cd	1269,57de	1653,38cd	9,39a	18,29f	3,56a	5,12c	54,06ab	57,97a	32,8b	43,87a	1,78b	2,45a	3,4b	3,45b	7d	7,2e
SVEVO	0,16b	0,43e	1144,58f	1414,98g	8,23c	16,89h	2,65e	4,65de	47,97i	49,40g	25,09f	35,73d	1,30f	1,96de	3,1i	3,15h	7,33a	7,35b
ZEINA1	0,16b	0,47d	1169,58f	1475,60fg	7,64d	18,37f	2,85d	4,56c	48,16i	48,56h	28,98d	33,53f	1,55d	1,83e	3,23f	3,25f	6,73g	6,8k
Átlag	0,17	0,42	1255,06	1584,26	8,54	16,99	3,16	4,85	49,83	50,83	36,78	36,78	1,59	2,07	3,29	3,31	6,94	7,00
SzD(P=5,0%)=	0,0503	0,0462	1,6118	1,6118	1,6118	1,6118	0,0566	0,0566	1,6199	1,6199	4,3383	4,3383	0,2732	0,2732	0,0466	0,0466	0,0910	0,0910

13. melléklet. 20 fajta felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságának és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértékei természetes csapadékellátottságú (RF) és öntözött (W) kezelésben 2011-ben. A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0,05) kezelésen belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. Az SzD értékek a két kezelés átlagértékei közötti szignifikáns különbséget mutatják (P=0,05)

## M13. A felvételezett tulajdonságok átlagértékei kezelésként és fajtánként (Core panel)

b.) 2012

Genotípus	HD		FD		MD		GR83		BSM		FTN		TE		SPAD83		NDVI65	
	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W
1807	141,00a	141,50b	146,67a	147,00a	178,33bc	186,00a	23,33d	28,00c	9,46cd	1,92b	329,67ab	166,100ab	42,67e	60,00f	8,63bc	22,90f	0,3788d	0,5640e
AMEDAKUL-1	138,00f	136,00b	142,33c	142,00f	177,33d	182,00c	26,67bc	33,00ab	7,49d	2,30b	271,00b	382,00c	43,00de	58,00g	5,73cd	22,70f	0,4289b	0,6008d
CHABHA88	139,67c	137,00f	144,33c	142,50e	178,00c	182,50b	25,67c	32,50ab	2,60	1,07bc	248,33b	670,00ab	45,33cd	61,50ef	5,00d	31,40c	0,4542a	0,6113cd
CHAM-1	138,67c	138,50b	144,33d	143,50e	177,67cd	181,50f	29,67ab	31,50b	8,20d	0,25c	331,00ab	507,50cd	45,33cd	50,00g	9,10b	28,90d	0,4557a	0,4951g
CICCIO	136,67i	135,50i	141,67f	142,00f	176,00e	179,50i	28,33ab	33,00ab	2,65f	1,31bc	297,00ab	316,00ef	41,33ef	54,00i	7,30bc	33,30b	0,4289b	0,5276f
GALLARETA	141,00a	141,00c	147,00a	147,00a	179,33a	183,00d	27,00bc	28,00c	7,66d	1,19bc	239,00b	486,00d	45,33cd	64,50cd	5,60cd	27,55de	0,3732d	0,5619e
HEIDER	140,33b	138,50b	145,00c	144,00b	178,67b	184,00c	25,00cd	31,00b	9,98e	2,28b	316,33ab	451,50de	35,67g	49,50j	6,47cd	34,25b	0,3857cd	0,5786e
ITALO	139,00e	137,33f	143,00d	143,00d	177,33d	183,00d	27,00bc	32,00b	11,74bc	3,45ab	288,67ab	730,00a	41,00f	47,00k	6,57cd	28,80d	0,4467ab	0,5039g
KARIM	140,33b	137,00f	144,00c	143,50e	177,67cd	180,50g	26,00c	31,50b	6,38d	0,69bc	304,67ab	315,00ef	44,00de	66,00c	6,90c	22,00f	0,4111bc	0,7044d
KOFA	142,67a	142,00a	147,00a	147,00a	178,67b	184,00c	23,00d	28,00c	8,79cd	1,01bc	235,67b	455,00d	39,67f	62,00e	6,40cd	36,20a	0,4291b	0,6257bc
MARIANA	139,00e	137,00f	143,33d	142,50e	178,00c	180,50g	30,00a	32,30b	4,20e	0,75bc	348,33a	603,50bc	50,00a	61,00ef	11,13a	22,85f	0,4374ab	0,6738b
MERIDIANO	137,00h	136,00b	141,00g	141,00g	177,00d	183,00d	27,00bc	33,00ab	9,60cd	0,84b	229,00c	576,50e	44,33d	61,50ef	4,57d	33bc	0,3281e	0,4882g
MEXICALI75	136,67i	136,00b	141,00g	142,00f	175,33g	180,50g	26,00c	33,00ab	8,69cd	1,82bc	263,00b	306,50f	43,33de	64,00d	5,93cd	26,35de	0,3996e	0,4619h
MIKI-1	135,33j	134,00j	139,67h	140,50g	175,00f	180,50g	27,33b	34,50a	3,47ef	1,31bc	278,67ab	659,50b	40,33f	56,00h	6,27cd	35,65ab	0,3973cd	0,6002d
OMRABIS	138,33f	136,50g	142,33c	142,50e	177,33d	184,50b	28,67ab	32,50b	4,52ef	1,94b	304,00ab	567,00c	47,33bc	68,50b	8,70bc	26,85e	0,4484ab	0,6224c
OUASERL-1	137,67g	136,50g	141,67f	143,00d	178,33bc	179,50i	28,33ab	32,00b	1,72f	0,26c	305,33ab	528,50cd	41,00f	54,50hi	6,10cd	18,00g	0,3929c	0,5277f
PIETRAFITTA	139,33d	139,00d	144,33c	144,00b	178,00c	184,00c	25,67c	31,00b	12,34b	4,68a	275,67b	514,00cd	51,33a	57,00gh	9,33ab	35,70ab	0,3582d	0,5662e
QUADALETE	137,33b	135,50i	142,00e	142,50e	177,00d	180,00h	28,00b	32,50b	6,75d	0,00	218,33b	286,50f	40,00f	59,00k	8,60bc	23,40ef	0,4040c	0,5410ef
SVEVO	138,67c	138,50b	143,00d	144,00b	177,33d	180,50g	27,00bc	31,00b	15,70a	1,60bc	342,33ab	289,00f	46,00e	65,00cd	10,83ab	19,20g	0,4036c	0,5845de
ZEINAI	138,82	137,62	143,33	143,43	177,50	182,18	26,73	31,57	7,42	1,48	282,90	484,03	43,73	59,58	7,28	27,69	0,41	0,57
Átlag	138,82	137,62	143,33	143,43	177,50	182,18	26,73	31,57	7,42	1,48	282,90	484,03	43,73	59,58	7,28	27,69	0,41	0,57
SzD(P=5,0%)=	1,0394	1,1860	1,5180	1,5180	2,5730	2,5730	5,2374	5,2374	221,3737	221,3737	4,8923	4,8923	5,6949	5,6949	0,0680	0,0680	0,1353	0,1353

Genotípus	NDVI83		AUSDC		AUVIC		GY		TGW		SNNM		SWM		SW		SL	
	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W	RF	W
1807	0,3003bc	0,4936c	1672,50cd	1797,98f	14,19c	21,55e	3,18c	3,53f	40,89f	33,71i	22,56e	32,23cd	0,96ef	1,094de	3,10j	2,85i	6,73j	6,55m
AMEDAKUL-1	0,2850c	0,4702d	1657,57cd	1927,23gh	14,68bc	22,08de	2,81e	3,59f	53,56a	46,05b	25,58e	29,03bc	0,90f	1,399c	3,37b	3,25b	7,60c	7,45c
CHABHA88	0,3144b	0,5370b	1663,03cd	1905,50gh	16,03a	23,23cd	3,24bc	3,53f	45,49g	37,02g	24,16de	24,50f	1,21cd	0,93e	3,10j	2,85i	7,37f	7,05i
CHAM-1	0,3170b	0,4752d	1797,5ab	2043,50ef	16,10a	19,61g	3,64a	4,01d	48,71de	38,78fg	33,62a	34,80b	1,74a	1,24cd	3,10j	3,25b	7,43e	7,15h
CICCIO	0,3170b	0,4466e	1754,48b	2236,65c	15,54ab	19,72b	3,20c	3,78e	51,78b	44,53c	31,64d	30,57de	1,46b	1,46b	3,33c	3,15d	7,57cd	7,30f
GALLARETA	0,3062bc	0,4339ef	1709,95bc	2078,95e	14,94c	20,40g	3,38d	3,63ef	46,16f	45,07c	22,38e	42,57a	0,96ef	1,48b	3,10j	3,10e	7,27g	7,40i
HEIDER	0,3124b	0,4752d	1650,00cd	1912,95gh	15,70b	22,08de	3,14cd	4,38e	50,44c	45,07c	28,20c	34,27bc	1,51b	1,41bc	3,27e	3,10e	7,53d	7,40i
ITALO	0,2844c	0,5486b	1632,20d	2588,05a	15,91c	22,48f	2,70ef	3,59f	45,52fg	35,84g	21,80e	27,77ef	1,10de	1,11de	3,13i	2,95g	7,20h	6,95j
KARIM	0,2974bc	0,5352b	1636,22d	1890,78h	15,57ab	20,59f	3,39d	3,63ef	46,41f	38,16g	21,40e	26,13f	1,05e	1,02e	3,17h	2,95g	7,57cd	7,25g
KOFA	0,2889c	0,5800a	1739,87bc	2249,25c	14,61bc	26,12a	3,90de	4,65b	39,66f	30,40bc	30,93d	41,30a	1,33c	1,19d	3,10j	2,99h	7,50d	7,40i
MARIANA	0,2967bc	0,4979c	1566,17e	2147,55d	15,02b	22,95e	3,57de	4,65b	44,16h	38,03g	25,91d	41,30a	1,134e	1,42ab	3,10j	2,95g	7,27g	6,95j
MERIDIANO	0,3374a	0,4670d	1802,75ab	2001,88f	15,97a	25,25b	3,54a	4,41c	51,25bc	41,98e	28,58c	33,93bc	1,31cd	1,49ab	3,30d	3,05f	7,80a	7,45e
MEXICALI75	0,2634d	0,4609de	1746,87bc	2236,65c	12,43cd	18,80h	2,65f	3,76ef	49,28d	41,98e	27,63e	32,72e	0,80f	1,12de	3,23f	3,10e	7,57cd	7,30f
MIKI-1	0,2607d	0,4333ef	1602,60de	1841,40hi	11,85e	18,37h	2,39g	3,93de	48,03e	41,91e	22,42e	32,72e	1,19d	1,61a	3,37b	3,20c	6,97i	6,85k
OMRABIS	0,3053bc	0,4988c	1695,67e	2422,60b	14,40bc	22,27de	3,10cd	3,74ef	44,85gh	34,47f	29,02e	34,80b	1,45bc	1,15d	3,30d	2,90h	7,17h	6,80l
OUASERL-1	0,3100bc	0,5422b	1818,60a	2161,95d	15,80bc	23,62c	3,53ab	4,63b	48,93d	44,31d	32,92a	32,90c	1,69a	1,399c	3,17h	3,05f	7,37f	7,15h
PIETRAFITTA	0,2922c	0,4260f	1711,53bc	1765,85i	14,41bc	19,43gh	3,10cd	3,65ef	53,69a	48,65a	28,07c	30,57de	1,66a	1,33c	3,43a	3,30a	7,63bc	7,55b
QUADALETE	0,2483d	0,4864cd	1659,27cd	2267,20c	12,94d	21,44ef	3,02d	3,63ef	51,91b	42,35e	28,42c	31,67cd	1,66de	1,33c	3,37b	3,10e	7,50d	7,35e
SVEVO	0,2866c	0,4264f	1727,13bc	1943,48g	14,46bc	19,79g	3,51ab	3,77e	48,18e	45,54bc	24,96d	34,33bc	1,29c	1,42bc	3,13i	3,10e	7,67b	7,75a
ZEINAI	0,2743c	0,5712a	1709,70bc	1695,90j	14,35cd	21,52e	3,37b	3,61f	49,80cd	37,27g	17,07f	34,67bc	0,80f	1,19d	3,20g	2,90h	7,33f	6,95j
Átlag	0,2949	0,4903	1697,69	2055,7e	14,60	21,57	3,14	3,95	48,34	40,97	25,85	32,37	1,23	1,28	3,22	3,05	7,40	7,20
SzD(P=5,0%)=	0,0622	0,0622	165,5552	165,5552	2,3933	2,3933	0,4679	0,4679	2,8370	2,8370	5,8851	5,8851	0,3664	0,3664	0,0739	0,0739	0,1353	0,1353

13. melléklet. 20 fajta felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke természetes csapadékellátottságú (RF) és öntözött (W) kezelésben 2012-ben. A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0,05) kezelésen belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. Az SzD értékek a két kezelés átlagértékei közötti szignifikáns különbséget mutatják (P=0,05)

**M14. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (Core panel)**

a.)

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
<b>Eigen</b>	11,72	7,58	1,72	1,55
<b>Összesített variancia (%)</b>	40,41	26,12	5,94	5,36

**Faktor – változó korreláció**

V29-31	-0,85	0,39	ns	ns
V33	-0,31	ns	ns	-0,79
HD	0,92	ns	ns	ns
FD	0,92	ns	ns	ns
MD	0,95	ns	ns	ns
FLC	0,80	ns	ns	-0,40
BE	0,92	ns	ns	ns
TE	0,92	ns	ns	ns
EL	0,51	-0,53	ns	ns
FTN	0,82	ns	ns	ns
SKNM	-0,48	ns	ns	-0,32
BSM	-0,45	ns	0,45	-0,37
ASM	-0,37	0,44	0,42	ns
SPAD45	-0,63	ns	-0,61	ns
SPAD65	-0,35	0,53	-0,65	ns
SPAD77	-0,56	ns	-0,44	ns
SPAD83	0,80	0,55	ns	ns
SPAD85	0,55	0,35	ns	-0,42
GY	0,62	0,22	ns	ns
P	ns	0,93	ns	ns
G	ns	0,85	ns	ns
Z	ns	0,93	ns	ns
HL	0,89	ns	ns	ns
NDVI45	-0,89	ns	ns	ns
NDVI65	0,40	0,84	ns	ns
NDVI83	ns	0,94	ns	ns
SL	-0,67	ns	ns	ns
AUSDC	ns	0,92	ns	ns
AUVIC	ns	0,94	ns	ns

b.)

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
<b>Eigen</b>	4,17	2,67	1,60
<b>Összesített variancia (%)</b>	34,80	22,30	10,52

**Faktor – változó korreláció**

HD	0,76	-0,39	ns
FD	0,75	-0,37	ns
MD	0,92	-0,34	ns
GF	0,86	-0,24	-0,29
FTN	0,78	-0,29	ns
SKNM	-0,42	0,50	0,29
SNM	0,73	0,62	ns
SWM	0,80	0,53	ns
BSM	-0,66	-0,49	ns
ASM	-0,76	-0,33	ns
GY	0,24	0,30	ns
TGW	0,29	ns	-0,81

14. melléklet. A vizsgált (a) morfológiai, fiziológiai, (b) egyedfejlődési tulajdonságok és terméskomponensek főkomponens analízisének eredménye természetes csapadékellátottság esetén (Core panel, 2011-2013)

**M15. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise az öntözött ismétlésekben (Core panel)**

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8	Faktor 9
<b>Eigen érték</b>	7,47	5,93	3,58	2,47	1,99	1,58	1,39	1,04	1,03
<b>Összesített variancia (%)</b>	23,35	18,53	11,17	7,73	6,21	4,95	4,36	3,26	3,22
<b>Faktor – változó korreláció</b>									
V29-31	ns	ns	0,31	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V33	ns	0,50	ns	ns	ns	ns	0,43	ns	ns
FLC	0,52	ns	0,73	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BE	0,44	ns	0,75	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TE	0,44	ns	0,78	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EL	ns	ns	0,53	ns	ns	-0,36	ns	ns	ns
FTN	ns	-0,63	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SKNM	ns	0,47	0,41	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SNM	0,65	ns	0,36	ns	-0,33	ns	ns	ns	ns
SWM	0,88	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BSM	ns	-0,46	ns	ns	ns	-0,48	ns	ns	ns
ASM	ns	-0,42	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,54
SPAD45	-0,64	0,42	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD65	-0,51	ns	ns	-0,52	ns	0,34	ns	0,39	ns
SPAD77	ns	ns	ns	-0,45	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD83	ns	-0,74	ns	-0,33	ns	ns	-0,34	ns	ns
SPAD85	-0,67	-0,40	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GY	0,44	0,41	ns	-0,41	ns	0,33	ns	ns	ns
TGW	0,22	0,80	ns	ns	0,32	ns	ns	ns	ns
P	ns	-0,74	ns	-0,43	0,24	ns	0,30	ns	ns
G	ns	-0,58	ns	-0,56	0,32	ns	ns	ns	ns
Z	0,30	-0,64	ns	-0,49	0,32	ns	ns	ns	ns
HL	0,84	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NDVI45	ns	0,72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NDVI65	ns	ns	ns	ns	0,45	0,42	ns	ns	ns
NDVI83	ns	-0,32	ns	ns	0,50	ns	ns	ns	0,31
SW	ns	0,71	ns	ns	0,35	ns	ns	ns	ns
SL	ns	0,34	ns	ns	0,26	ns	ns	-0,46	ns
AUSDC	ns	-0,39	ns	-0,40	ns	ns	ns	ns	ns
AUVIC	ns	ns	0,41	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SSI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,61	ns	-0,37
STI	ns	ns	ns	ns	-0,52	0,45	ns	-0,49	ns

15. melléklet. A vizsgált morfológiai, fiziológiai tulajdonságok és terméskomponensek főkomponens analízisének eredménye az öntözött ismétlésekben (Core panel, 2011-2013)

**M16. A felvételezett tulajdonságok közötti kapcsolat természetes csapadékellátottság esetén (Core panel)**

Tulajdonság	Jellegek közötti szimpla regresszió (R <sup>2</sup> )																
	GY		NDVI83		SPAD83		SPAD85		ASM		BSM		AUSDC		AUVIC		
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	
NDVI45	33,29**	22,41*	ns	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NDVI65	41,30**	48,41***	ns	58,09***	ns	ns	ns	ns	21,94*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NDVI83	3891**	39,84**	—	—	ns	47,18***	21,28*	ns	24,10*	ns	35,94**	ns	ns	27,04*	ns	31,23**	ns
SPAD45	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD65	ns	ns	ns	ns	ns	23,45*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD77	ns	ns	31,92**	ns	ns	24,17*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD83	62,86***	31,00*	43,63**	35,94**	—	—	26,37*	43,12**	19,80*	ns	56,52***	14,16*	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD85	37,76**	29,75*	21,28*	24,10*	ns	—	—	—	—	ns	33,41**	14,16*	ns	ns	ns	ns	ns
AUSDC	26,63*	39,19**	ns	ns	ns	56,52***	33,41**	14,16*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AUVIC	63,77***	52,59***	27,04*	31,23**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FLC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BE	37,49**	ns	42,64**	31,85**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TE	38,80**	22,93*	41,49**	23,84*	ns	40,22**	21,90*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EL	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FTN	37,60**	ns	37,77**	ns	ns	22,93*	34,13**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	35,07**	ns	ns	ns
HD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FD	22,68*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GF83	18,63**	27,88*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SKNM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ASM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BSM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TGW	28,53*	25,22*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SNM	ns	ns	ns	ns	ns	33,63**	ns	ns	22,92*	45,28**	23,80*	42,91**	ns	ns	ns	ns	ns
SWM	ns	ns	ns	ns	ns	43,93**	ns	ns	40,54**	46,77**	21,20*	46,77**	ns	ns	ns	ns	ns
SW	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SL	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

16. melléklet. A felvételezett tulajdonságok közötti kapcsolat természetes csapadékellátottság esetén (Core panel, 2011-2012)



**M17. A felvételezett tulajdonságok rangkorreláció eredményei (Core panel)**

TK	RF			W			TK	RF			W			TK	RF			W		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013		2011	2012	2013	2011	2012	2013		2011	2012	2013	2011	2012	2013
<b>AUSDC</b>							<b>SPAD83</b>							<b>EF &amp; M</b>						
G	ns	ns	ns	ns	0,37	0,33	G	ns	ns	ns	0,32	0,41	ns	BE	0,37	0,29	ns	ns	ns	ns
GY	0,60	0,58	ns	0,50	ns	ns	GY	0,70	0,54	ns	0,59	ns	ns	FTN	0,44	ns	ns	0,43	0,64	ns
P	ns	ns	ns	ns	0,37	0,33	HL	ns	ns	ns	ns	-0,33	0,38	TE	0,37	0,31	ns	ns	ns	ns
<b>AUVIC</b>							<b>SPAD85</b>							<b>SPAD85</b>						
SL	ns	0,46	ns	-0,33	ns	ns	SWM	0,61	ns	0,30	0,31	ns	ns	BE	0,55	0,31	0,57	ns	ns	ns
G	0,37	ns	ns	ns	ns	0,32	GY	0,36	0,39	ns	ns	ns	ns	FTN	0,39	ns	ns	ns	0,42	ns
GY	0,31	0,37	ns	ns	ns	ns							TE	0,57	0,56	ns	ns	ns	ns	
Z	0,30	ns	ns	ns	ns	0,36	<b>EF &amp; M</b>							<b>F</b>						
<b>NDVI45</b>							<b>SPAD45</b>							<b>AUSDC</b>						
GY	ns	0,45	ns	ns	0,33	ns	FD	-0,37	-0,50	ns	ns	ns	ns	NDVI65	0,54	ns	0,30	ns	0,45	ns
SKNM	ns	ns	0,26	ns	0,47	ns	HD	-0,32	-0,57	ns	ns	ns	ns	NDVI83	0,50	0,27	0,30	ns	0,57	ns
SL	ns	0,39	ns	ns	ns	0,34	V29-31	ns	ns	0,27	0,36	ns	ns	SPAD45	0,57	0,52	0,59	ns	0,55	0,64
<b>NDVI65</b>							<b>AUSDC</b>							SPAD65	0,51	0,68	0,73	0,50	0,78	0,65
GY	0,65	0,63	ns	ns	0,32	ns	FTN	ns	ns	0,30	ns	0,37	ns	SPAD77	0,62	0,38	0,63	0,75	0,76	0,51
<b>NDVI83</b>							<b>AUVIC</b>							SPAD83	0,79	0,87	0,56	0,73	0,91	0,58
BSM	-0,26	ns	ns	-0,36	ns	ns	BE	0,27	ns	0,47	ns	0,39	0,42	SPAD85	0,38	ns	ns	ns	0,57	ns
G	0,28	ns	ns	ns	0,31	0,34	FLC	0,26	ns	0,44	ns	0,39	0,32	<b>AUVIC</b>						
GY	0,76	0,67	ns	ns	ns	ns	FTN	0,64	0,27	ns	ns	0,43	ns	AUSDC	0,29	ns	0,34	ns	0,51	ns
HL	ns	0,27	ns	ns	-0,52	ns	TE	0,28	0,26	0,48	ns	0,39	0,43	NDVI65	0,57	0,80	0,94	ns	ns	ns
P	0,27	ns	ns	ns	0,36	0,35	<b>NDVI45</b>							NDVI83	0,88	0,98	0,98	ns	ns	ns
TGW	ns	ns	0,35	ns	-0,42	ns	BE	0,47	ns	ns	ns	0,57	ns	SPAD83	0,75	ns	0,48	ns	ns	ns
Z	ns	ns	0,26	ns	ns	0,37	FLC	0,50	0,41	0,44	ns	0,57	0,33	SPAD85	0,68	ns	0,49	ns	ns	ns
<b>SPAD65</b>							<b>NDVI65</b>							<b>NDVI65</b>						
G	ns	0,28	ns	0,33	ns	0,38	BE	ns	ns	0,43	ns	0,48	0,45	NDVI83	ns	0,71	0,93	ns	ns	ns
GY	ns	0,45	ns	0,55	ns	ns	FLC	ns	ns	0,36	ns	0,49	0,36	<b>NDVI83</b>						
P	ns	0,30	ns	ns	ns	0,41	FTN	ns	0,36	ns	ns	0,36	ns	SPAD83	0,52	0,71	ns	ns	ns	ns
<b>SPAD77</b>							TE	0,30	ns	0,44	ns	0,48	0,46	SPAD85	0,78	ns	0,65	ns	ns	ns
BSM	-0,51	ns	0,28	ns	ns	ns	<b>NDVI83</b>													
SNM	0,45	ns	ns	ns	ns	0,35	BE	0,46	ns	0,48	ns	ns	0,44							
SL	ns	0,57	ns	0,37	ns	ns	FLC	0,34	0,28	0,39	ns	ns	ns							
							FTN	0,31	ns	ns	ns	0,60	ns							
							TE	0,44	ns	0,49	ns	ns	0,41							

17. melléklet. A felvételezett egyedfejlődési (EF), morfológiai (M), fiziológiai (F) tulajdonságok, valamint a vizsgált terméskomponensek (TK) Spearman-féle rangkorreláció eredménye természetes csapadékellátottságú (RF) és öntözött (W) kezelésben,  $P < 0,05$  valószínűségi szinten (Core panel, 2011-2013)

**M18. Az évjárat, genotípus, kezelés, vetési sűrűség valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett tulajdonságokra (NILs kísérlet)**

a.)

	Évjárat (É)	Genotípus (G)	Kezelés (K)	Sűrűség (D)	G x É	G x K	G x D	É x K	É x D	K x D	É x G x K	É x G x D	É x K x D	G x K x D	É x G x K x D
d.f.	1	7	1	1	7	7	7	1	1	1	7	7	1	7	7
<b>HD</b>	2156,85***	502,57***	3,71	525,87***	27,06***	2,02	6,53***	6,77*	0,08	12,71***	3,14*	5,26***	1,82	1,27	0,48
<b>FD</b>	3167,93***	332,91***	1,88	393,75***	20,86***	1,24	3,97***	8,72**	6,44*	9,22**	2,53*	3,78***	1,88	1,43	1,12
<b>MD</b>	3798,87***	157,56***	377,06***	119,3***	25,58***	4,84***	3,81***	21,11***	27,96***	20,32***	3,21**	4,53***	26,16***	1,56	1,03
<b>GY</b>	72,11***	30,1***	247,04***	109,42***	8,23***	1,58	2,62*	78,62***	32,88***	37,09***	2,24*	1,24	33,14***	2,12*	2,75**
<b>TGW</b>	133,71***	88,35***	685,52***	56,52***	20,26***	9,06***	2,87**	487,73***	0,08	0,52	2,46**	0,83	1,95	2,81**	3,02**
<b>SNM</b>	826,46***	8,5***	2,02	0,08	1,27	0,27	1,09	0,03	2,84	0,94	0,79	0,16	0,95	1,06	0,79
<b>SWM</b>	132,34***	27,68***	414,71***	133,16***	1,76	1,42	1,73	0,71	3,46	0,19	1,03	0,95	24,78***	0,51	0,48
<b>SKNM</b>	644,12***	53,33***	7,97	24,6	0,45	1	9,62**	3,14	0,38	0,04	1,39	1,43	0,1	0,55	0,98
<b>BSM</b>	1,34	0,58	0,28	0,07	0,69	0,4	0,43	0,11	0,26	0,51	0,91	0,46	0,15	0,91	0,28
<b>ASM</b>	0,37	0,59	1,17	0	0,89	0,77	0,68	1,66	0,03	0,07	0,56	0,83	0,03	0,85	0,75
<b>SL</b>	4,06*	13,07***	0,68	31,23***	4,09***	1,9	1,17	0	26,32***	15,52***	4,66***	3,5*	4,06*	0,76	1,99
<b>SW</b>	600,45***	220,04***	34,51***	16,23***	44,47***	1,77	7,44***	600,45***	30,68***	28,85***	3,14	1,7	8,14***	1,38	0,99
<b>FLC</b>	876,31***	18,48***	16,41***	13,94***	12,82***	1,77	1,16	27,49***	4,27*	31,21***	1,69	0,74	0,1	1,34	0,74
<b>BE</b>	978,21***	128,18***	52,24***	16,6***	32,02***	3,31*	1,2	12,97***	0,58	41,13***	2,88*	2	2,17	1,21	1,66
<b>TE</b>	979,14***	102,85***	62,92***	22,7***	35,24***	0,28	0,41	7,33**	1,26	22,7***	1,18	0,55	1,31	2,02	1,37
<b>EL</b>	101,32***	4,38***	25,08***	8,56***	0,72	0,43	0,41	0,42	0,02	0,89	0,13	0,15	0,02	0,17	0,07
<b>FTN</b>	0,41	9,97***	0,35	7,77**	8,19***	2,27*	1,12*	0,29	1,68	0,11	1,76	0,38	0,15	1,04	0,26
<b>FLA</b>	28,45	71,72	0	2,01	17,07	3,21	2,28	0,46	0,15	0,06	2,61	0,7	0,21	1,09	0,82

18. melléklet. Az évjárat, genotípus, kezelés, vetési sűrűség valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterekre, illetve a vizsgált termékkomponensekre Khí-négyzet teszt alkalmazásával, nyolc közel izogén tavaszi durumbúza törzs esetén. A REML analízis során F=Wald statisztika/d.f., a két év kombinációjában (NILs kísérlet, 2013-2014)

## M18. Folytatás az előző oldalról

	Évjárat (É)	Genotípus (G)	Kezelés (K)	Sűrűség (D)	G x É	G x K	G x D	É x K	É x D	K x D	É x G x K	É x G x D	É x K x D	G x K x D	É x G x K x D
d.f.	1	7	1	1	7	7	7	1	1	1	7	7	1	7	7
<b>SPAD45</b>	1610,61***	18,52***	2	36,93***	1,86	1,75	1,21	0,25	0,2	11,43***	1,06	1,04	1,23	0,87	1,27
<b>SPAD65</b>	220,84***	16,7***	0	7,1	3,14	1,02	0,66	0,11	1,11	1,83	0,65	1,06	1,4	1,44	0,46
<b>SPAD77</b>	202,7***	26,52***	70,18***	28*	10,75***	2,29*	0,68	0,73	52,7***	3,25	1,91	0,18	3,79	1,14	1,38
<b>SPAD83</b>	14,41***	11,6***	336,6***	19*	5,23***	3,15**	0,35	1,51	55,48***	18,87***	1,2	0,23	0	0,46	0,49
<b>SPAD85</b>	2,63	3,7	23,07	19,43***	3,66***	1,2	1,03	11,2***	27,94***	0,56	1,4	0,62	10,69**	0,21	0,96
<b>NDVI45</b>	1,05	16,91***	0,02	0,02	3,82***	0,87	0,15	0,13	0,2	0,01	0,67	0,49	0,06	0,33	0,64
<b>NDVI65</b>	1,18	2,13*	0,02	0,04	1,24	0,09	0,06	0,02	0,07	0,01	0,15	0,07	0,01	0,08	0,22
<b>NDVI83</b>	30,83***	7,45***	5,54*	56,25***	3,86***	0,48	0,88	0,35	37,11***	0,71	0,28	0,15	0,16	0,49	0,49
<b>AUSDC</b>	1932,15***	47,62***	161,93***	27,72***	5,16***	1,22	0,82	0,03	56,96***	3,23	1,31	0,33	2,39	0,5	0,96
<b>AUVIC</b>	352,31***	4,17***	1,44	11,07***	3,46**	0,19	0,31	0	8,5**	0,11	0,06	0,09	0,08	0,23	0,1
<b>RWC</b>	858,81***	0,92	45,38***	1,47	1,05	0,48	0,36	0,56	0,53	0,08	0,41	1,47	3,92*	0,56	0,68
<b>WW65</b>	1,32	3,6**	0,18	0,26	1,74	0,2	0,24	0,11	0,02	0,02	0,6	0,12	0,01	0,24	0,36
<b>DW65</b>	407,65***	1,84	49,66***	34,36***	1,16	1,26	0,99	4,04	1,43	4,6	1,23	0,49	0,19	0,87	0,63
<b>WW91</b>	202,57***	3,5	47,54***	26,68***	1,38	0,42	0,76	45,45***	6,93*	7,22*	0,73	0,54	3,26	1,19	0,08
<b>DW91</b>	261,27***	3,35	39,82***	17,72***	1,48	0,34	0,65	40,35***	2,94	6,07*	0,61	0,75	4,95	1,08	0,12
<b>G</b>	271,97***	20,08***	1,28	372,89***	14,55***	13,86***	2,11	5,12	1,24	27,58***	1,98	0,4	4,48	1,42	1,94
<b>HL</b>	35,15***	43,89***	360,86***	86,76***	9,98***	17,37***	1,02	106,91***	4,39	19,31***	5,21	1,08	0,79	1,86	2,08
<b>P</b>	171,12***	24,65***	1,07	396,56***	14,54***	13,81***	1,59	1,97	0,19	17,63***	2,07	1,16	2,81	0,89	1,38
<b>Z</b>	13,34***	11,53***	33,3***	237,7***	6,27***	6,78***	1,19	144,39***	20,52***	12,73***	1,01	0,67	4,04	2,47	1,2

18. melléklet. Az évjárat, genotípus, kezelés, vetési sűrűség valamint kölcsönhatásuk szignifikanciája a felvételezett egyedfejlődési, morfológiai és fiziológiai paraméterekre, illetve a vizsgált terméskomponensekre Khí-négyzet teszt alkalmazásával, nyolc közel izogén tavaszi durumbúza törzs esetén. A REML analízis során F=Wald statisztika/d.f., a két év kombinációjában (Tükrösi tenyészkert, 2013-2014)

## M19. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája (NILs kísérlet)

a.) 2013

	HD				FD				MD				SPAD45				SPAD65				SPAD77			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	155,75a***	154,13a	155,50a***	154,00a	160,88a***	159,25a	160,75a***	159,00a	196,50a	197,10a	196,25a***	195,25b	44,49bc***	38,86c	38,83e	39,10c	47,81bc	47,88b	45,94d	47,94b	38,28d*	35,2de	31,39e**	27,40e
1++	154,75b***	151,50b	153,80b***	152,00b	160,00b***	156,00b	159,00b***	157,38b	196,38a	196,88a	196,38a	195,75a	45,38b***	41,96ab	41,50d	42,35b	47,71c*	45,99c	46,15d	46,00c	42,54c***	37,45c	43,09ab	43,40a
2--	148,75f***	146,63e	149,25e***	147,00e	154,38e***	152,25e	155,00d***	152,13e	192,75f	193,00e	191,50e	190,88e	40,33e	40,54b	38,71e	39,11c	48,93b	47,46b	48,95c***	45,96c	35,90e	36,56cd	32,78de***	26,26e
2++	147,38g***	145,38f	147,38g***	146,13f	153,00f***	150,38f	153,13f***	151,25f	192,38g	193,00e	191,25e	190,63e	41,88d	40,85b	42,58c***	39,18c	51,08a***	47,08b	46,93d	47,76b	46,09b***	40,59b	41,90b***	35,90c
3--	150,88c***	148,75c	150,63d***	149,57c	156,50c***	154,13c	156,75c***	155,25c	195,00b	194,63bc	194,25b***	192,13c	45,25b***	42,58a	42,16cd**	44,31a	47,55c	48,60ab	50,98b	49,46ab	39,46d***	33,38e	33,56d***	26,78e
3++	149,13e***	147,30d	149,00e***	147,63d	154,75e***	153,13d	154,63d***	153,25d	194,38c	194,00d	193,75d***	192,25c	46,96a***	42,56a	45,34d	44,09a	50,74a*	48,68a	52,79a***	50,05a	48,25a***	42,80a	42,80ab	40,84b
4--	151,00c***	148,63c	151,00c***	149,63c	156,63c***	154,00c	156,50c*	155,50c	194,00d	194,75b	194,13c***	191,75d	43,93c***	40,90b	43,93b	43,16ab	48,90b	49,33a	50,29b*	48,38b	42,40c**	38,09c	36,78c***	31,34d
4++	150,13d***	147,13d	148,38f***	147,13e	155,75d***	152,63e	154,00e***	152,50e	193,50e	194,38c	193,63d***	191,50d	42,76d	41,46b	44,46a	43,81a	50,59a	49,00a	51,75ab*	49,73a	49,44a***	43,36a	44,03a*	40,63b
Átlag	<b>150,13***</b>	<b>148,69</b>	<b>150,63***</b>	<b>149,13</b>	<b>156,48***</b>	<b>153,97</b>	<b>156,22***</b>	<b>154,53</b>	<b>194,36</b>	<b>194,72</b>	<b>193,89***</b>	<b>192,52</b>	<b>43,87***</b>	<b>41,21</b>	<b>42,19</b>	<b>41,89</b>	<b>49,16</b>	<b>48,00</b>	<b>49,22</b>	<b>48,16</b>	<b>42,79**</b>	<b>38,43</b>	<b>38,29**</b>	<b>12571,00</b>

	SPAD83				SPAD85				NDVI45				NDVI65				NDVI83				FLC			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	27,76e	25,98e	22,73c***	18,53c	14,90b***	8,30bc	9,78c	9,46b	0,3700b	0,3864a*	0,3827a	0,3808a	0,5722a	0,5672a	0,5603a	0,5682a	0,3673c***	0,2868de	0,3874bc***	0,2969b	40,13cd	42,25bc*	44,13b***	40,75c
1++	32,81c	31,93c	30,68a***	26,05a	18,34a***	11,08a	14,69a	13,14a	0,3817a	0,3850a	0,3836a	0,3829a	0,5668ab	0,5593ab	0,5684a	0,5685a	0,4287c***	0,3583a	0,4275a***	0,3451a	43,63b*	42,00cd	45,25b***	42,13b
2--	29,69d**	26,49e	24,06c***	18,65c	7,73d	6,86c	10,33c	9,38b	0,3073e	0,3242c*	0,3353cd	0,3295d	0,5377c	0,5448c	0,5398c	0,5421c	0,3318f***	0,2789e	0,3111e***	0,3111e***	38,00e	38,38e	42,38c***	37,8d
2++	34,59b	33,20bc	29,14ab***	23,30b	10,35c	8,40bc	13,40ab***	8,75bc	0,3342d	0,3247c	0,3369cd	0,3279d	0,5420c	0,5505bc	0,5438c	0,5438c	0,3565e*	0,3365b	0,3562d***	0,2804c	39,13de	41,00d	42,88c*	40,88c
3--	29,96d	29,40d	24,10c***	15,56d	17,16a***	8,99b	13,14ab***	8,14bc	0,3586c	0,3488b	0,3672b	0,3669b	0,5594b	0,5533b	0,5546b	0,5524bc	0,4086d***	0,2975d	0,3651d***	0,2788c	40,38c	40,50d	42,13c***	36,50e
3++	36,40a	34,41b	30,19a***	24,51ab	12,11c***	7,51bc	12,36b***	8,36bc	0,3678bc*	0,3526b	0,3675b	0,3667b	0,5600b	0,5553b	0,5582b	0,5543bc	0,4635a***	0,3542a	0,4206a***	0,3403a	43,63b	43,38b	47,25a***	40,88c
4--	34,43bc**	30,86cd	26,33b***	19,78c	14,00b***	9,50ab	10,83bc**	7,40c	0,3516c	0,3517b	0,3315d	0,3432c	0,5414c	0,5386c	0,5439c	0,5410c	0,4311c***	0,3158c	0,3815c***	0,3347a	43,13b	42,00cd	42,25c	41,25bc
4++	35,56ab	36,28a	27,79b**	23,94b	10,66c*	7,33bc	8,60c	6,59d	0,3699b*	0,3526b	0,3434c	0,3415c	0,5357c	0,5429c	0,5458c	0,54292c	0,4456b***	0,3384b	0,3955b***	0,3460a	46,75a	45,50a	45,25b*	43,63a
Átlag	<b>32,65</b>	<b>11475,00</b>	<b>26,88***</b>	<b>21,29</b>	<b>13,16***</b>	<b>8,50</b>	<b>11,64*</b>	<b>8,90</b>	<b>0,3551</b>	<b>0,3532</b>	<b>0,3560</b>	<b>0,3549</b>	<b>0,5519</b>	<b>0,5514</b>	<b>0,5518</b>	<b>0,5516</b>	<b>0,4041***</b>	<b>0,3207</b>	<b>0,3806***</b>	<b>0,3112</b>	<b>41,84</b>	<b>41,87</b>	<b>43,94***</b>	<b>40,48</b>

	BE				TE				EL				FTN				FLA				RWC			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	55,25cd	55,88c	55,75cd***	51,75d	62,38c	61,75de	61,88d***	57,75f	6,38ab	6,13a	6,13a	6,00a	406,25ab*	372,75bc	402,88ab	381,25ab	33,34a***	28,18a	29,99a	30,73a	91,15b	89,24b	90,49a***	84,08d
1++	59,13b	59,13b	59,75c*	58,88b	68,38b**	66,13b	66,25c	64,88c	6,50a	6,38a	6,25a	6,25a	423,75a*	390,50b	414,50a	393,00a	27,72b	28,74a	27,08b	25,58c	92,24b	92,66a	88,61b	90,96a
2--	56,25cd	56,25c	56,25c***	51,50d	61,63c	62,75d	62,13d***	57,38fg	5,88b	5,88b	5,88b*	5,38c	368,75c*	339,25d	373,00c	387,00ab	22,30d	25,98b***	22,37c	23,18d	92,30b	92,40ab	89,12ab	87,93bc
2++	60,00b	59,50b	60,88b	58,13b	68,63b***	64,50c	66,63c***	63,63d	6,13b	6,13a	5,75bc	5,50bc	393,75b	415,00a	393,50b	399,00a	20,69e	21,69c	21,72c	21,19e	90,88b	89,65b	87,60b	86,71c
3--	54,88d	54,50d	54,75d***	51,25d	61,25d	60,75e	60,50e***	56,50g	5,88b	5,75b	5,75bc	5,25c	371,25c	364,75c	370,38c	371,75b	27,11b	29,28a*	22,81c	24,36cd	95,23a***	90,75b	85,35c	87,28c
3++	66,00a	66,38a	66,50a***	62,75a	69,25b	72,50a***	72,38a***	68,13b	6,38ab*	5,88b	5,88b*	5,38c	403,75b	413,25a	389,75bc	383,50ab	23,35cd*	20,95c	25,88b*	23,88d	92,26b	90,17c	83,87c	88,20b***
4--	56,38c	56,13c	56,75c*	55,13c	62,25cd	61,63e	62,25d*	60,50e	5,88b	5,75b	5,50c	5,38c	372,50c	369,25c	379,50bc	361,00b	26,82b	28,22a	28,81ab	27,58b	92,27b	91,11ab	87,42b	89,32ab
4++	65,38a	65,75a	65,75a**	63,75a	73,75a**	71,50a	71,25b*	69,38a	6,25ab	6,13a	5,88b	5,63b	381,25c	383,75bc	393,13b	372,00b	24,65c	20,66c	25,90b	24,64cd	90,96b	89,75b	85,23c	89,05b**
Átlag	<b>59,15</b>	<b>59,18</b>	<b>59,55***</b>	<b>56,64</b>	<b>65,93</b>	<b>65,18</b>	<b>65,41***</b>	<b>62,26</b>	<b>6,16</b>	<b>6,00</b>	<b>5,87</b>	<b>5,59</b>	<b>390,15</b>	<b>381,06</b>	<b>389,57</b>	<b>381,06</b>	<b>25,74</b>	<b>25,46</b>	<b>25,57</b>	<b>25,14</b>	<b>92,16</b>	<b>90,71</b>	<b>87,21</b>	<b>87,93</b>

19. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött (W) és öntözetlen (NW) kezelésben, két vetési sűrűségben (N-normál; L-alacsony). A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0.05) kezelésben belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget az öntözött és öntözetlen kezeléseken a két vetési sűrűség között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkert, 2013)

## M19. Folytatás az előző oldalról

	WW65				DW65				WW91				DW91				GY				TKW			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	0,1505a	0,1450bc	0,1445b	0,1450bc	0,0210c***	0,0135cd	0,0165b**	0,0120c	0,0370d***	0,0248c	0,0353cd	0,0298b	0,0258d**	0,0183bc	0,0250c	0,0210b	3,07de*	2,88c	2,90c	2,72d	33,24g	34,86f***	43,51d	43,47e
1++	0,1515a*	0,1455b	0,1455ab	0,1455b	0,0210c***	0,0160bc	0,0195a***	0,0115cd	0,0493b***	0,0310b	0,0440b**	0,0345a	0,0353ab***	0,0218b	0,0318b*	0,02625a	3,54b	3,45a	3,40a	3,23b	38,63c	41,35b***	45,58b	46,31b
2--	0,1415b	0,1428bc	0,1340c	0,1428bc*	0,0210c***	0,0120d	0,0165b***	0,0100d	0,0320e	0,0288bc	0,0335d*	0,0260bc	0,0230d	0,0220b	0,0260c**	0,0193bc	3,16d*	2,98c	2,64d***	2,29f	30,95h	33,87g***	40,55e	41,96f***
2++	0,1265c	0,1410c***	0,1345c	0,1410c*	0,0190d**	0,0145c	0,0190a***	0,0140b	0,0373d	0,0320ab	0,0490a***	0,0273bc	0,0293c	0,0255ab	0,0393a***	0,0203d	3,43bc**	3,13b	3,02c	2,89c	35,36f	36,15e*	43,42d	46,26b***
3--	0,1475ab	0,1420bc	0,1435b	0,1420bc	0,0230b**	0,0185a	0,0125c	0,0110cd	0,0438c***	0,0273bc	0,0415bc***	0,0240c	0,0295c***	0,0193bc	0,0293bc***	0,0165c	3,00e	3,13b	2,96c***	2,52e	36,58e	36,79d	44,80c	44,11d
3++	0,1495a*	0,1430bc	0,1450ab	0,1430bc	0,0250ab***	0,0175ab	0,0195a***	0,0125c	0,0545a***	0,0233c	0,0450ab***	0,0318ab	0,0380a***	0,0168c	0,0325b***	0,0233ab	3,68a*	3,48a	3,27ab	3,41a	40,70b	42,20a**	47,09a	48,27a***
4--	0,1438b	0,1530a**	0,1465ab	0,1530a*	0,0240b***	0,0160bc	0,0150b	0,0190a**	0,0495b***	0,0298b	0,0460ab**	0,0355a	0,0343b***	0,0203bc	0,0315b	0,0268a	3,30c***	2,69d	2,73d	2,67d	37,98d	39,25c**	45,25bc	45,43c
4++	0,1445b	0,1503a	0,1490a	0,1503a	0,0265a***	0,0170ab	0,0190a***	0,0140b	0,0485b***	0,0358a	0,0393c	0,0335ab	0,0345ab**	0,0273a	0,0275c	0,0238ab	3,50b***	3,14b	3,19b***	2,82cd	41,48a	42,70a**	46,85a	48,24a***
Átlag	<b>0,1444</b>	<b>0,1453</b>	<b>0,1428</b>	<b>0,1453</b>	<b>0,0226***</b>	<b>0,0156</b>	<b>0,01712**</b>	<b>0,0130</b>	<b>0,0440***</b>	<b>0,0290</b>	<b>0,0417***</b>	<b>0,0302</b>	<b>0,0312***</b>	<b>0,0213</b>	<b>0,0303**</b>	<b>0,0221</b>	<b>3,34*</b>	<b>3,11</b>	<b>3,01*</b>	<b>2,81</b>	<b>36,86</b>	<b>38,39***</b>	<b>44,63</b>	<b>45,51*</b>

	SKNM				SNM				SWM				SL				SW				ASM			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	15,50a***	13,83a	15,33a***	13,71a	38,75ab***	34,88b	36,13b*	34,50c	2,00d***	1,70d	1,66b***	1,31d	6,9750d	6,9875b	7,1375a***	6,8875c	2,88e***	2,76f	3,05e***	2,98e	0,4079b	0,4901a	0,4534a	0,5768ab
1++	15,25a***	14,04a	15,13a	13,67a	39,79a***	36,96a	37,54a	36,38b	2,57a***	2,32a	1,78a	1,69a	7,0000c	7,0000b	7,1375a***	7,0125a	3,03c	3,04b	3,15d	3,14c	0,5208b	0,5251a	0,6397a	0,3894b
2--	13,00c	13,00b	13,50b	13,15b	34,79d	34,79b	34,17c	34,38c	1,87e***	1,61d	1,46c*	1,29d	7,1250b***	7,0375a	7,0250b***	6,9125c	2,80f***	2,73g	2,91f***	2,80f	0,6683ab	0,5035a	0,5802a	0,5834ab
2++	12,58c	13,13b**	13,38b	13,20b	36,92c	36,79a	37,21ab	36,37b	2,27c***	1,78cd	1,62bc	1,49bc	7,1750a***	7,0625a	7,1625a***	6,8875c	2,90e*	2,88e	3,03e***	2,95f	0,4079b	0,6346a	0,3696a	0,4768b
3--	13,21c	13,03b	13,23bc	13,15b	34,04d	33,17c	34,54c	35,71bc	2,17c***	1,65d	1,52c**	1,31d	6,9750d	7,0000b	7,0500b***	6,9125c	3,00d***	2,94d	3,19c***	3,10d	0,8807a*	0,3788a	0,6257a	0,3064b
3++	13,13c	13,21b	12,71d	13,00b	38,13b	37,21a	38,17a	37,96a	2,60a***	1,91bc	1,82a***	1,58b	7,0125c***	6,9250c	7,0500b***	6,9500b	3,11b	3,14a	3,29a***	3,23a	0,5865ab	0,6672a	0,4097a	0,5150b
4--	13,58b	13,23b	13,00c	13,08b	36,42c	35,17b	34,04c	35,25c	2,23c***	1,82c	1,63b***	1,38cd	7,0125c	7,0000b	7,0375b**	6,975b	3,04c	3,01c	3,23b***	3,18b	0,5319b	0,4853a	0,3674a	0,8421a*
4++	13,13c	12,98b	12,50d	13,02b**	37,17bc	37,17a	36,17b	37,37ab	2,45b***	1,93b	1,73ab***	1,45c	7,0125c**	6,9500c	7,0375b***	6,9625b	3,14a	3,14a	3,28a**	3,24a	0,2907b	0,6262a	0,6422a	0,6141ab
Átlag	<b>13,67</b>	<b>13,30</b>	<b>13,59</b>	<b>13,24</b>	<b>37,00</b>	<b>35,76</b>	<b>35,99</b>	<b>35,98</b>	<b>2,27***</b>	<b>1,84</b>	<b>1,65**</b>	<b>1,44</b>	<b>7,0359</b>	<b>6,9953</b>	<b>7,0797***</b>	<b>6,9375</b>	<b>2,99*</b>	<b>2,95</b>	<b>3,14***</b>	<b>3,08</b>	<b>0,5368</b>	<b>0,5388</b>	<b>0,5109</b>	<b>0,5379</b>

	BSM				HL				G				P				Z			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	0,2551c	0,8397ab*	0,5523a	0,8881b	79,30a	82,08a	82,58b	84,09a	37,00b***	34,66b	34,88f***	32,40e	17,63c***	16,38c	16,85e***	15,41e	63,99bc***	61,04a	66,43c***	62,18c
1++	0,2717c	0,7900ab	0,9329a	0,7352bc	78,55c	81,48b	82,35b	84,26a	34,00e***	29,66f	35,75d***	32,23e	16,34f***	14,29g	17,36d***	15,74d	64,04b***	57,74d	67,99a***	65,39a
2--	0,6495b	0,5859b	0,9402a	0,5232bc	78,93b	81,86a	81,96c	83,71b	37,69a***	35,76a	35,26c***	33,75c	18,20b***	17,04a	16,65f***	15,53e	62,11d***	59,49c	63,91e***	59,56e
2++	1,0367b	0,7143ab	0,7586a	0,4692c	78,60bc	80,54c	83,08a	84,04ab	36,46c***	32,78e	35,46e***	33,50d	17,34de***	15,21f	16,90e***	15,73d	62,19d***	57,78d	65,54d***	61,50d
3--	0,6503b	0,9008ab	0,7887a	1,3295a	76,85d	81,25b	82,24c	83,44b	37,81a***	34,69b	36,90c***	34,74b	18,38a***	16,56b	17,99c***	16,59c	64,34b***	60,68ab	66,96b***	62,59c
3++	0,0000d	0,7397ab*	0,6551a	0,5808bc	75,36e	76,34e	82,31bc	83,08c	36,45c***	33,39d	37,79a***	35,58a	17,48d***	15,74e	18,51a***	17,13a	63,84c***	59,95b	68,03a***	65,49a
4--	1,6160a	0,5689b	0,8784a	0,9692a	74,13f	77,09d	81,18d	81,43d	37,59a***	34,28c	37,33b***	35,51a	18,15b***	16,19d	18,13bc***	16,99ab	64,64a***	60,46b	66,88b***	64,43b
4++	0,2907c	1,0978a**	0,8120a	0,5457bc	70,28g	72,84f	80,84d	80,38e	35,90d***	33,45d	37,48b***	35,35a	17,20e***	15,70e	18,26b***	16,95b	64,55a***	60,71ab	68,00a***	65,36a
Átlag	<b>0,5962</b>	<b>0,7796</b>	<b>0,7897</b>	<b>0,7550</b>	<b>76,50</b>	<b>79,18</b>	<b>82,07</b>	<b>83,05</b>	<b>36,61***</b>	<b>33,58</b>	<b>36,35***</b>	<b>34,13</b>	<b>17,59***</b>	<b>15,88</b>	<b>17,58***</b>	<b>16,25</b>	<b>63,71***</b>	<b>59,73</b>	<b>66,72***</b>	<b>63,31</b>

19. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött (W) és öntözetlen (NW) kezelésben, két vetési sűrűségben (N-normál; L-alacsony). A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0.05) kezelésen belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget az öntözött és öntözetlen kezeléseken a két vetési sűrűség között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkert, 2013)

## M19. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája (NILs kísérlet)

b.) 2014

	HD				FD				MD				SPAD45				SPAD65				SPAD77			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	152,63a***	149,13a	152,63a***	148,50a	156,25a***	153,00a	155,88***	152,50a	192,88a***	190,00ab	191,00a***	188,00b	50,95d***	48,28c	51,35e***	48,74c	51,51c***	47,55c	47,34f	49,38d*	38,03f	41,56c**	36,24d	37,81e
1++	150,80b***	147,50b	149,63b***	146,88b	154,63b***	151,38b	153,13***	150,88b	193,13a***	190,38a	190,75a***	188,13b	53,11c	52,69a	51,09e	50,88b	54,26b***	51,24d	52,23d	52,24c	40,14e	48,85b***	42,55c**	39,13de
2--	145,50f***	143,75c	144,38f**	143,50e	149,38e***	147,75f	148,38***	147,63e	188,50e	187,75d	185,75e***	184,88e	53,04c**	50,98b	52,30de**	50,26b	50,76c	51,35d	49,69e	51,45c*	43,81d	50,74ab**	43,78bc	44,78c
2++	144,50h**	143,38f	144,25f**	143,50e	148,25g	147,75f	148,13	147,63e	188,88de	188,75c	186,50d	185,88d	53,15c	52,66a	52,64d	53,39a	54,59b**	52,23c	54,40bc	53,71b	46,53b	50,28ab**	47,75a*	44,95c
3--	146,63d***	144,88d	145,50e***	143,88d	150,38d***	148,88d	149,38***	148,00d	190,00c***	188,38c	186,88cd***	185,25e	55,43ab***	52,80a	54,15b	53,21a	53,61b	52,81c	53,60c	53,39bc	48,25ab	50,91ab*	42,38c	42,05d
3++	145,00g**	144,00e	144,25f**	143,38e	149,00f**	148,00ef	148,25***	147,38e	189,25d***	187,00e	187,00c	186,38c	56,16a***	53,20a	56,39a***	53,43a	55,86a	54,44b	56,45a	54,94a	49,29a	51,89a*	44,35b	48,76a***
4--	145,63e***	143,88e	146,00d***	144,38c	149,63e***	148,25e	150,13***	148,13d	188,00f	187,25e	185,63e***	184,00f	54,85b***	51,43b	53,88c	53,99a	54,46b	54,41b	54,95b	55,19a	45,69c	49,30b**	41,83c	46,50bc***
4++	147,50c***	145,63c	147,25c*	146,63b	151,38c***	149,63c	151,13	150,50c	190,63b*	189,63b	190,00b	189,75a	56,14a***	52,31ab	54,35b	53,31a	54,91a	56,01a	54,53bc	55,10a	47,29bc	49,36b	45,04b	46,98b
Átlag	147,28***	145,27	146,73***	145,08	151,11***	149,33	150,55***	149,08	190,16***	188,64	187,94***	186,53	54,10**	51,79	53,27	52,15	53,75	52,50	52,90	53,17	44,88	49,11***	42,99	43,87

	SPAD83				SPAD85				NDVI45				NDVI65				NDVI83				FLC			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	23,23e	30,53c***	20,65d	20,86c	10,00	12,31c**	10,06bc***	7,09c	0,3625a	0,3575ab	0,3674a	0,3656a	0,5464b	0,5590a	0,5566ab	0,5565a	0,3690b	0,3489c	0,3415b	0,3550b	46,63d	47,25d	45,63e*	43,50d
1++	26,80cd	30,88c**	27,40a***	22,41bc	11,48b	12,95bc	12,04a**	9,76ab	0,3613a	0,3634a	0,3665a	0,3629a	0,5494b	0,5637a	0,5544ab	0,5548a	0,3785b	0,3737bc	0,3957a	0,3802ab	51,63bc	52,63b	50,25c***	46,75c
2--	26,39d	30,41c**	20,89d	23,73ab*	10,38c	12,99bc**	9,78bc	8,99b	0,3502b	0,3420b	0,3424c	0,3420b	0,5623ab	0,5725a	0,5582ab	0,5578ab	0,3660b	0,3881b	0,3770a	0,3807ab	50,50c	49,75c	48,50d	47,00c
2++	27,01cd	30,90c**	25,28b	25,06a	11,61b	13,18bc	9,04c	9,36ab	0,3478b	0,3475b	0,3474c	0,3433b	0,5692a	0,5689a	0,5601a	0,5599ab	0,3938b	0,3971ab	0,3867a	0,3923a	52,50b	52,50b	51,50bc	50,75a
3--	29,35bc	34,48b***	20,55d	21,34c	11,48b	14,49ab***	9,19c	7,95bc	0,3616a	0,3573ab	0,3555b	0,3667a	0,56445a	0,5729a	0,5644ab	0,4169ab	0,3878b	0,3954a	0,3877a	50,13c	55,50a***	52,25b*	50,13ab	
3++	35,69a	38,26a*	26,08a*	23,56ab	16,06a	15,04a*	10,65b**	8,23b	0,3609a	0,3593ab	0,3528b	0,3633a	0,5632ab	0,5602a	0,5618a	0,5673a	0,4273a	0,4161a	0,4023a	0,3913a	56,13a	55,88a	54,50a***	50,00ab
4--	30,90b	30,33c	23,13c	20,81c	11,83b	13,58b*	10,59b	9,93ab	0,3371c	0,3493b	0,3432c	0,3356b	0,5499ab	0,5388b	0,5368b	0,5419b	0,4035ab	0,3835b	0,3874a	0,3566b	55,38a	56,38a	50,13c	49,50b
4++	28,16c	34,04b***	25,48b	23,19b	11,48b	14,73ab***	10,35b	10,80a	0,3317c	0,3501b*	0,3400c	0,3355b	0,5492b	0,5352b	0,5388b	0,5450b	0,4092ab	0,3859b	0,3791a	0,3779ab	50,00c	51,50b	50,63c	49,38b
Átlag	28,44	32,48**	23,68	22,62	11,79	13,66*	10,21	9,01	0,3516	0,3533	0,3519	0,3519	0,5552	0,5578	0,5550	0,5560	0,3955	0,3851	0,3831	0,3777	51,61	52,67	50,42*	48,38

	BE				TE				EL				FTN				FLA				RWC			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	55,25cd	55,88c	55,75de***	51,75d	62,63f*	60,00e	60,75e	60,38d	6,88b	6,50c	6,63bc	6,38b	338,00***	257,25	343,00	315,50	39,48a***	35,69a	36,49a**	33,33a	71,06b	75,22a	67,31bc	73,15a**
1++	59,13b	59,13b	59,75c	58,88b	75,75d	74,75d	72,63d	71,63c	7,25a	7,25a	7,13a	6,88a	355,75***	286,00	389,50	375,25	37,29b	36,81a	35,98a***	32,74a	72,33b	71,62b	69,10b	67,51bc
2--	56,25c	56,25c	56,25***	51,50d	73,63e	75,63d	71,38d	70,88c	7,13ab	6,88b	6,75b*	6,13b	403,75***	344,75	400,50	383,00	20,33f	21,54d	21,48e	22,38e	74,92ab	75,43a	71,88ab**	65,68c
2++	60,00b	59,50b	60,88b***	58,13b	80,38b	81,25b	78,50b**	75,25a	7,25a	7,13ab	7,00a*	6,50ab	430,00	469,25*	423,75	412,75	21,24f	22,22d	21,50e	21,82e	71,46b	73,08ab	67,98bc*	63,58c
3--	54,88d	54,50d	54,75e***	51,25d	77,63e	80,75b**	78,88b***	73,75b	6,88b	6,50c	6,38cd*	5,88b	381,50	375,50	411,00*	370,75	25,39d*	23,21c	24,75d	26,42c	72,02b	71,63b	72,83a***	64,88c
3++	66,00a	66,38a	66,50a***	62,75a	82,00a	84,38a*	80,63a***	75,50a	7,13ab	7,00ab	6,50bc*	6,00b	488,25	458,50	489,00***	424,00	24,46de	23,95c	26,63bc**	24,48d	74,82a	71,46b	65,64c	65,60c
4--	56,38c	56,13c	56,75d*	55,13c	79,25b	79,25c	76,75c***	71,63c	6,50b	6,63c	6,13d	6,25c	384,25	405,50	355,25	323,25	23,59e	22,06d	26,36c	27,79b	72,16b	73,17a	72,20a***	63,58c
4++	65,38a	65,75a	65,75a**	63,75a	80,13b	81,38b	79,38ab***	74,63a	7,00ab	6,88b	6,63bc	6,50ab	438,50	464,25	388,75	369,25	29,44c	28,80b	27,85b	28,99b	75,67a	74,12a	73,27a	69,67b
Átlag	59,16	59,19	59,55***	56,64	76,42	77,17	74,86**	71,70	7,00	6,84	6,64	6,31	402,50	382,63	400,09	371,72	27,65	26,78	27,63	27,25	73,05	73,21	70,03	66,71

19. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött (W) és öntözetlen (NW) kezelésben, két vetési sűrűségben (N-normál; L-alacsony). A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0.05) kezelésben belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget az öntözött és öntözetlen kezeléseken a két vetési sűrűség között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkert, 2014)

## M19. Folytatás az előző oldalról (NILskísérlet)

	WW65				DW65				WW91				DW91				GY				TKW			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	0,1495b	0,1450bc	0,1505ab	0,1635ab	0,0400b*	0,0335bc	0,0300bc	0,0285bc	0,0783b**	0,0615b	0,0280d	0,0398c*	0,0645bc*	0,0510c	0,0215d	0,0325c*	3,73f***	2,51d	2,10e	1,99d	34,49e	35,61e*	38,39cd	38,93d
1++	0,1585ab	0,1660a	0,1620a	0,1690a	0,0360c	0,0375ab	0,0320b	0,0295b	0,0735bc**	0,0560c	0,0473bc	0,0493b	0,0635bc**	0,0475c	0,0395bc	0,0418b	4,31d***	3,68b	2,99c	2,89b	36,94d	41,52b***	40,44a	40,92b
2--	0,1350c	0,1415bc	0,1285c	0,1280c	0,0430ab***	0,0310cd	0,0275c	0,0230c	0,0793ab*	0,0653bc	0,0473bc	0,0445bc	0,0688b***	0,0480c	0,0400bc	0,0375bc	5,08b***	2,50d	2,90c	2,83b	38,47c	38,56c	38,59b	39,88c**
2++	0,1440bc	0,1498b	0,1435bc	0,1400c	0,0330c	0,0355b	0,0260c	0,0260bc	0,0663c	0,0740ab	0,0518b	0,0530ab	0,0580c	0,0653a	0,0453ab	0,0460ab	5,49a***	3,73b	3,25b	2,97b	39,38b	41,57b***	40,19a	41,49ab**
3--	0,1350c	0,1325c	0,1305c	0,1490bc	0,0410b***	0,0310c	0,0285c	0,0335a	0,0795ab***	0,0600c	0,0495b	0,0463b	0,0693b**	0,0528bc	0,0418b	0,0395bc	4,06e***	3,20c	2,74d	2,56c	39,32b***	37,66d	37,54d	39,31cd***
3++	0,1545ab	0,1595ab	0,1640a	0,1530b	0,0460a*	0,0400a	0,0315bc	0,0295b	0,0865a**	0,0683b	0,0518b	0,0580a	0,0765a**	0,0595b	0,0445ab	0,0500a	5,19b**	4,77a	3,52a	3,26a	41,19a	41,83b	40,93a	41,20b
4--	0,1450bc	0,1358c	0,1465b	0,1358c	0,0355c	0,0315c	0,0370a	0,0370a	0,0845ab	0,0800a	0,0600a**	0,0445bc	0,0673b	0,0700a	0,0513a*	0,0375bc	4,49cd***	3,24c	2,93c*	2,62c	39,49b***	37,83d	37,74d	40,30bc***
4++	0,1648a	0,1603ab	0,1505ab	0,1380c	0,0395bc***	0,0280d	0,0275c	0,0250c	0,0653c	0,0580c	0,0410c	0,0510ab	0,0553c	0,0468c	0,0335c	0,0425b	4,67c***	3,35c	3,55a	3,31a	40,69a	43,47a***	40,37a	41,91a**
<b>Átlag</b>	<b>0,1483</b>	<b>0,1488</b>	<b>0,1470</b>	<b>0,1470</b>	<b>0,0393*</b>	<b>0,0335</b>	<b>0,0300</b>	<b>0,0290</b>	<b>0,0766*</b>	<b>0,0654</b>	<b>0,0471</b>	<b>0,0483</b>	<b>0,0654</b>	<b>0,0551</b>	<b>0,0397</b>	<b>0,0409</b>	<b>4,63***</b>	<b>3,37</b>	<b>3,00</b>	<b>2,80</b>	<b>38,75</b>	<b>39,76*</b>	<b>39,27</b>	<b>40,49*</b>

	SKNM				SNM				SWM				SL				SW				ASM			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	15,50a***	13,83a	16,22a	15,09b	46,13bc	44,88bc	45,88a	45,94b	2,01d	2,20c	1,73e	1,62c	7,05b	7,01b	7,00c	6,99b	2,91bc	2,85e***	2,84d***	2,76e	0,59ab	0,63a	2,46a***	0,67ab
1++	15,25a***	14,04a	16,41a***	15,53a	50,41a***	46,44ab	45,91a	49,13a***	2,61ab	2,58a	2,34a***	1,97a	6,96c	6,99bc	6,99c	6,95bc	2,90c	2,98c***	2,90c	2,89c	0,65ab	0,50a	0,37bc	0,39b
2--	13,00c	13,00b	14,66c	15,03b*	42,19d	44,00c	42,66b	43,56c	2,16c	2,08d	1,91de***	1,51d	7,08ab	7,13a*	7,11a	7,18a*	2,93b	2,91d	2,85d***	2,76e	0,40b	0,40a	0,40bc	0,91a*
2++	12,58c	13,13b**	14,31d	14,34d	44,34c	46,03ab	44,91ab	44,41c	2,57ab*	2,42b	2,10c**	1,63c	7,10a	7,11a	7,13a	7,20a**	2,86d	2,90d**	2,83d	2,80d	0,21b	0,43a	0,64b	0,93a
3--	13,21c	13,03b	14,53cd	14,69c	44,91c	46,53ab	45,31a*	43,34c	2,20c	2,09d	1,98d***	1,63c	7,06b*	7,01b	7,05b***	6,93c	3,00a	3,09a***	2,95b	2,93b	0,42b	0,39a	0,45bc	0,67ab
3++	13,13c	13,21b	14,78bc	14,59cd	46,34b	47,19a	45,31a	45,22bc	2,66a*	2,50ab	2,24b***	1,75b	6,90d	6,96c*	7,05b***	6,96bc	2,99a	3,09a***	2,91c	2,96a	0,85a	0,43a	0,22c	0,68ab
4--	13,58b	13,23b	14,97b	14,69c	43,91c	45,16bc	43,66b	43,78c	2,14c*	2,01d	1,83e***	1,51d	7,06b*	7,01b	7,03bc**	6,95bc	3,00a	3,10a***	2,99a***	2,94ab	0,58ab	0,45a	0,42bc	0,69ab
4++	13,13c	12,98b	14,88bc**	14,28d	44,13c	45,69b	44,69ab	46,47b	2,55b***	2,19cd	2,05cd***	1,67bc	7,00c	7,09a***	6,94d	6,98b	2,99a	3,03b**	2,93bc	2,90c	0,38b	0,45a	0,43bc	0,65ab
<b>Átlag</b>	<b>13,67</b>	<b>13,31</b>	<b>15,09</b>	<b>14,78</b>	<b>45,29</b>	<b>45,74</b>	<b>44,79</b>	<b>45,23</b>	<b>2,36</b>	<b>2,26</b>	<b>2,02***</b>	<b>1,66</b>	<b>7,03</b>	<b>7,04</b>	<b>7,04</b>	<b>7,02</b>	<b>2,95</b>	<b>2,99*</b>	<b>2,90*</b>	<b>2,87</b>	<b>0,51</b>	<b>0,46</b>	<b>0,67</b>	<b>0,70</b>

	BSM				HL				G				P				Z			
	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>N</sub>	NW <sub>L</sub>	NW <sub>N</sub>
1--	0,72a	0,78ab	0,39b	0,40c	75,40	75,59	78,76	80,40**	41,95a***	38,26a	38,29b	37,73b	20,90a***	18,01a	19,13b***	17,85b	68,31a***	65,75a	63,39b	65,26a**
1++	0,54a	0,64ab	0,38b	0,22c	76,89	80,36***	80,25	80,23	39,53bc***	33,84d	36,40c	35,73cd	18,61cd***	15,60d	17,64e**	16,73cd	68,13a***	62,11cd	64,56a	63,95b
2--	0,75a	0,64ab	0,41b	0,22c	77,33	77,75	77,21	80,75***	38,80c***	36,21b	36,45c	35,51d	18,24d***	16,76c	17,21g*	16,64d	66,03bc***	63,66b	63,05b**	61,15d
2++	0,64a	0,43bc	1,09a	1,57a	75,66	77,09*	80,04	80,61	38,08d***	35,33c	36,78c	36,28c	17,63e***	16,41c	17,24f	16,98cd	65,13c***	62,56c	62,90b	62,09cd
3--	0,54a	0,22c	0,65b	0,90b	78,51	80,91***	80,33	80,29	39,25c***	36,45b	37,93b***	35,64cd	18,96e***	17,41b	18,36d***	17,09c	66,20b***	63,65b	64,03ab**	61,79cd
3++	0,61a	0,84a	0,84ab	0,69bc	80,64	82,04*	80,05	79,89	36,99e***	34,84c	38,31b***	35,25d	17,68e***	16,48c	18,58d***	16,91c	63,59d**	61,58d	64,09ab***	61,45d
4--	0,60a	0,65ab	0,61b	0,46c	79,31	82,19***	79,43	79,99	38,68cd***	35,41c	38,26b***	36,05cd	18,47cd***	16,69c	18,59c***	17,16c	65,70bc***	62,64c	64,70a**	62,65c
4++	0,42a	0,66ab	0,85ab*	0,24c	77,76	79,38**	81,09*	79,78	39,95b***	36,59b	39,74a	38,84a	19,56b***	17,61b	19,60a*	18,90a	66,09b***	62,83bc	64,94a	65,45a
<b>Átlag</b>	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,65</b>	<b>0,59</b>	<b>77,69</b>	<b>79,41**</b>	<b>79,64</b>	<b>80,24</b>	<b>39,15***</b>	<b>35,87</b>	<b>37,77**</b>	<b>36,38</b>	<b>18,75***</b>	<b>16,87</b>	<b>18,29***</b>	<b>17,28</b>	<b>66,15***</b>	<b>63,10</b>	<b>63,96</b>	<b>62,97</b>

19. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött (W) és öntözetlen (NW) kezelésben, két vetési sűrűségben (N-normál; L-alacsony). A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0.05) kezelésben belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget az öntözött és öntözetlen kezeléseken a két vetési sűrűség között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkert, 2014)

## M20. QYld.idw-3B-- és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek különbségei kezelésen belül (NILs kísérlet)

a.) 2013

	HD		FD		MD		SPAD45		SPAD65		SPAD77		SPAD83		SPAD85		NDVI45		NDVI65		NDVI83		AUSDC		AUVIC		FLA	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	150,56***	150,83	156***	156,36	194,72**	193,27	42,11	41,16	48,31	48,49	37,41	30,78	29,32	21,22	10,93	9,80	0,35	0,35	0,55	0,55	0,34	0,33	1597,95	1441,54	14,86	15,32	27,65**	26,23
NIL++	149,09	148,94	154,44	154,39	194,36	193,14	42,98	42,91	48,86	48,89	43,81	41,57	34,40***	26,95**	10,72	10,74	0,36	0,36	0,55	0,55	0,39***	0,38*	1839,04***	1734,17**	15,57	15,65	23,56	24,48
LSD5%	0,45	2,27	0,66	2,15	0,19	1,91	1,07	3,07	1,38	2,78	2,42	3,39	1,45	3,44	2,68	2,11	0,008	0,025	0,004	0,012	0,018	0,043	72,745	175,280	0,453	1,696	2,528	3,680
LSD1%	0,67	3,36	0,97	3,18	0,28	2,83	1,58	4,54	2,04	4,12	3,58	5,01	2,14	5,08	3,97	3,12	0,012	0,037	0,007	0,017	0,027	0,064	107,658	259,402	0,671	2,511	3,741	5,446
LSD0.1%	1,04	5,19	1,50	4,91	0,43	4,37	2,45	7,01	3,15	6,36	5,53	7,75	3,31	7,86	6,13	4,82	0,019	0,057	0,010	0,026	0,041	0,098	166,368	400,864	1,036	3,880	5,781	8,416

	FTN		FLC		BE		TE		EL		GY		SKNM		SNM		SWM		BSM		ASM		TGW		SL		SW	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	370,59	378,34	40,59	40,91	55,69	54,14	61,80	59,86	5,94	5,66	3,03	2,68	13,55	13,52	35,25	34,84	1,88	1,45	0,76	0,86	0,54	0,54	35,44	43,63	7,01	6,99	2,89	3,06
NIL++	400,63**	392,30**	43,13**	43,52*	62,66**	62,05***	69,33***	67,82***	6,22	5,81	3,42***	3,15***	13,43	13,32	37,52**	37,15***	2,23**	1,64**	0,62	0,69	0,54	0,51	39,82***	46,50**	7,02	7,03	3,05***	3,16*
LSD5%	18,599	6,607	1,158	2,368	3,162	2,861	2,918	2,693	0,108	0,229	0,156	0,208	0,222	0,331	1,021	0,980	0,157	0,134	0,499	0,331	0,189	0,161	1,126	1,706	0,037	0,096	0,050	0,090
LSD1%	27,526	9,778	1,714	3,504	4,679	4,234	4,318	3,986	0,160	0,338	0,231	0,308	0,329	0,490	1,512	1,451	0,233	0,198	0,739	0,490	0,280	0,238	1,666	2,525	0,054	0,143	0,074	0,244
LSD0.1%	42,537	15,111	2,648	5,415	7,231	6,544	6,673	6,160	0,247	0,523	0,357	0,475	0,509	0,757	2,336	2,242	0,360	0,305	1,142	0,758	0,432	0,368	2,575	3,902	0,084	0,221	0,115	0,377

	HL		P		G		Z		WW65		WW91		DW65		DW91		RWC		APX		GPX		PUT		SPD		SPN	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	76,75	82,54	17,31***	16,77	36,18**	35,10	62,09	64,12	0,1445	0,1439	0,0341	0,0339	0,0196	0,0141	0,0240	0,0161	91,81	87,62	824,89	576,57	3040,50	4899,20	192,88	355,06	394,47	524,74	217,79	296,51
NIL++	78,93	82,58	16,16	17,07	34,01	35,39	61,35	65,91	0,1437	0,1442	0,0389*	0,0380	0,0186	0,0161	0,0281*	0,0281	91,07	87,53	982,16	504,78	3438,56	4840,85	177,70	460,20*	419,44	572,83	305,50	342,78
LSD5%	1,539	1,361	0,456	1,395	1,170	2,368	1,012	2,871	0,004	0,005	0,005	0,009	0,0015	0,0039	0,0035	0,0069	1,755	2,881	282,905	78,587	1331,836	3291,579	86,886	91,899	24,139	171,957	113,388	59,417
LSD1%	2,278	2,014	0,675	2,065	1,732	3,505	1,497	4,248	0,006	0,008	0,007	0,014	0,0022	0,0058	0,0051	0,0103	2,597	4,264	519,229	144,235	2444,388	6041,206	159,465	168,668	44,304	315,601	208,107	109,052
LSD0.1%	3,521	3,113	1,043	3,191	2,676	5,416	2,314	6,565	0,009	0,012	0,010	0,022	0,0034	0,0090	0,0079	0,0159	4,013	6,590	1148,881	319,143	5408,613	13367,169	352,844	373,205	98,030	698,319	460,470	241,295

20. melléklet. QYld.idw-3B-- és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött és öntözetlen kezelésben. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget kezelésen belül a QYld.idw-3B-- és QYld.idw-3B++ közel izogén törzsek között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkeret, 2013)



**M20. QYld.idw-3B— és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek különbségei kezelésen belül (NILs kísérlet)**  
b.) 2014

	HD		FD		MD		SPAD45		SPAD65		SPAD77		SPAD83		SPAD85		NDVI45		NDVI65		NDVI83		AUSDC		AUVIC	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	146,5	146,09	150,43	150	189,09	186,42	52,22	52,23	48,31	51,87	46,04	41,92	29,45	21,49	12,13	9,20	0,35	0,35	0,56	0,56	0,38	0,37	2170,43	2020,28	24,90	22,14
NIL++	146,05	145,71	150	149,62	189,7	188,04	53,68	53,18	48,86	54,20*	47,95	44,94	31,47	24,81**	13,31	10,03	0,35	0,35	0,56	0,56	0,40**	0,39*	2229,15	2109,61**	26,28*	22,54
LSD5%	1,231	1,376	1,123	1,320	1,155	1,843	1,143	1,142	1,379	1,636	2,008	2,096	2,381	1,668	1,253	0,960	0,003	0,002	0,005	0,004	0,009	0,016	98,814	45,396	0,958	0,867
LSD1%	1,822	2,037	1,662	1,953	1,709	2,727	1,691	1,690	2,041	2,422	2,971	3,102	3,523	2,468	1,854	1,421	0,005	0,004	0,007	0,006	0,013	0,023	146,238	67,182	1,417	1,282
LSD0.1%	2,816	3,147	2,568	3,018	2,641	4,214	2,614	2,611	3,154	3,742	4,592	4,794	5,445	3,815	2,865	2,195	0,007	0,006	0,011	0,009	0,020	0,036	225,988	103,820	2,190	1,982

	FLA		FTN		FLC		BE		TE		EL		GY		SKNM		SNM		SWM		BSM		ASM		TGW	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	26,41	27,38	361,31	362,78	51,44	48,33	65,58	63,97	73,59	70,55	6,73	6,31	3,60	2,58	15,25	14,98	44,71	44,27	2,11	1,72	0,61	0,51	0,48	0,83	37,68	38,83
NIL++	28,03	27,50	423,81**	407,77***	52,84	50,47*	73,50**	68,67*	80,00**	76,02**	7,11**	6,64***	4,40**	3,22***	15,22	14,89	46,32**	45,75**	2,51***	1,97**	0,60	0,73	0,49	0,54	40,82**	40,93***
LSD5%	2,596	1,087	32,778	15,147	3,718	1,538	3,498	3,789	4,195	3,465	0,168	0,136	0,456	0,224	0,191	0,315	1,079	1,000	0,098	0,137	0,231	0,464	0,168	0,619	1,606	0,522
LSD1%	3,842	1,609	48,509	22,416	5,502	2,277	5,176	5,607	6,209	5,128	0,248	0,201	0,674	0,331	0,282	0,466	1,596	1,480	0,145	0,202	0,342	0,686	0,248	0,916	2,376	0,772
LSD0.1%	5,938	2,486	74,962	34,640	8,503	3,518	7,999	8,665	9,595	7,924	0,383	0,311	1,042	0,511	0,436	0,720	2,467	2,287	0,225	0,313	0,528	1,061	0,383	1,416	3,672	1,193

	SL		SW		HL		P		G		Z		WW65		WW91		DW65		DW91		RWC	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL--	7,05	7,03	2,97	2,88	78,37	79,64	18,18	17,75	38,13	36,98	65,24*	63,25	0,1399	0,1408	0,0735	0,0456	0,0358	0,0297	0,0614	0,0371	73,20	68,58
NIL++	7,01	7,02	2,97	2,89	78,73	80,24	17,45	17,82	36,89	37,16	64,00	63,68	0,1567***	0,1525	0,0685	0,0504	0,0369	0,0284	0,0590	0,0429	73,07	67,80
LSD5%	0,060	0,034	0,050	0,053	2,080	1,021	1,086	0,875	1,587	1,349	1,193	1,027	0,006	0,008	0,010	0,009	0,005	0,004	0,011	0,009	2,301	4,114
LSD1%	0,089	0,051	0,074	0,079	3,078	1,511	1,607	1,296	2,348	1,997	1,766	1,520	0,009	0,012	0,015	0,014	0,008	0,005	0,016	0,013	3,405	6,088
LSD0.1%	0,138	0,079	0,115	0,122	4,756	2,335	2,484	2,002	3,629	3,085	2,729	2,349	0,014	0,019	0,023	0,022	0,012	0,008	0,025	0,020	5,261	9,408

20. melléklet. QYld.idw-3B— és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött és öntözetlen kezelésben. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget kezelésen belül a QYld.idw-3B— és QYld.idw-3B++ izogén törzsek között, P < 0,05; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten (Tükrösi tenyészkert, 2014)

**M21. A vizsgált tulajdonságok főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (NILs kísérlet)**

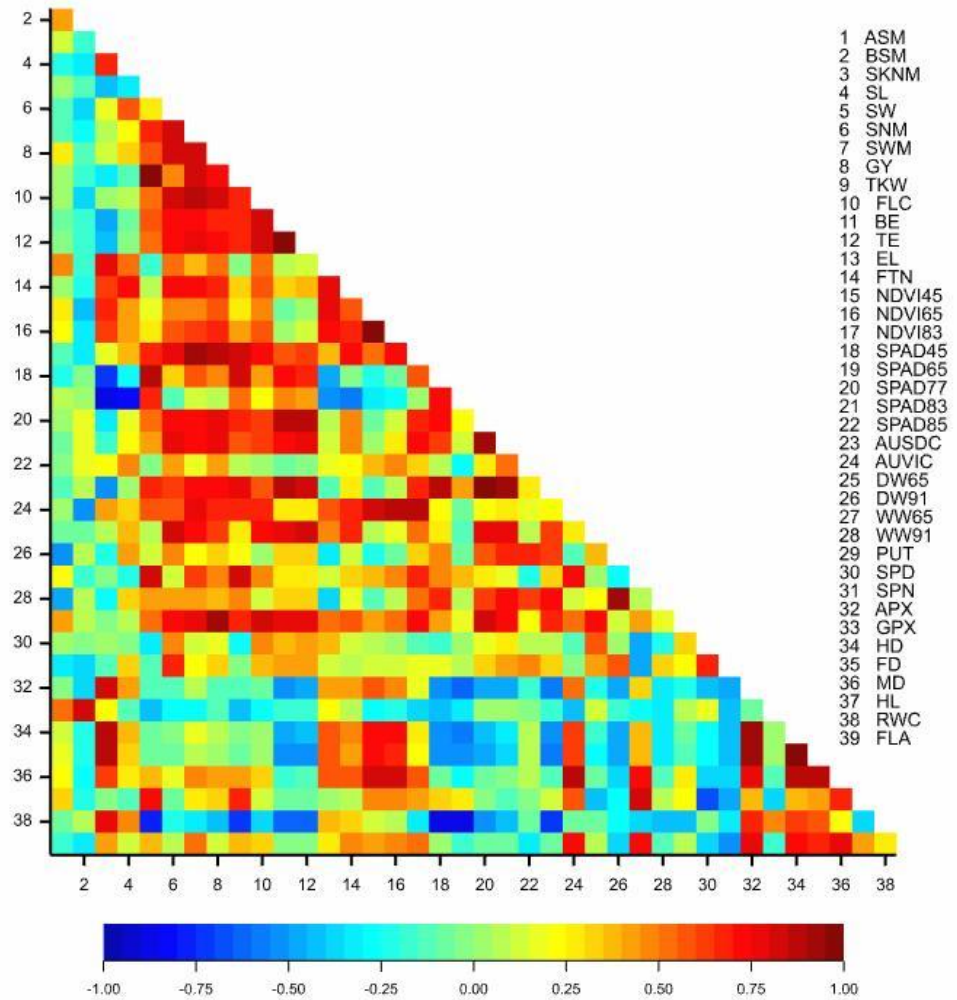
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
<b>Eigen érték</b>	12,60	9,69	5,86	3,41	2,62	2,05
<b>Összesített variancia (%)</b>	34,05	26,19	15,83	9,22	7,07	5,54

**Faktor – változó korreláció**

SKNM	ns	0,91	ns	ns	ns	ns
BSM	ns	ns	ns	ns	0,83	ns
ASM	ns	ns	ns	0,73	0,40	0,41
SNM	0,86	ns	ns	ns	ns	ns
SWM	0,94	ns	ns	ns	ns	ns
NDVI45	ns	0,80	ns	ns	ns	0,45
NDVI65	ns	0,76	ns	ns	ns	0,37
NDVI83	0,90	ns	ns	ns	ns	ns
GY	0,93	ns	ns	ns	ns	ns
FTN	0,59	0,63	ns	ns	ns	ns
FLC	0,87	ns	ns	ns	ns	ns
BE	0,84	ns	ns	ns	ns	ns
TE	0,86	ns	ns	ns	ns	ns
EL	ns	0,73	ns	0,41	ns	ns
SPAD45	0,71	-0,51	ns	ns	ns	ns
SPAD65	ns	-0,63	0,63	ns	ns	ns
SPAD77	0,87	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD83	0,85	ns	ns	ns	ns	ns
SPAD85	ns	ns	ns	-0,44	0,46	0,53
HD	ns	0,97	ns	ns	ns	ns
FD	ns	0,96	ns	ns	ns	ns
MD	ns	0,88	ns	ns	ns	ns
TKW	0,85	ns	0,52	ns	ns	ns
HL	ns	ns	0,81	ns	ns	ns
SW	0,70	ns	0,70	ns	ns	ns
SL	ns	ns	-0,61	-0,47	ns	ns
FLA	ns	0,68	0,42	ns	ns	-0,50
WW65	ns	ns	0,75	ns	ns	ns
DW65	0,71	ns	ns	ns	ns	ns
WW91	0,53	ns	ns	-0,69	ns	ns
DW91	ns	ns	ns	-0,65	ns	ns
RWC	ns	ns	ns	ns	ns	ns
APX	ns	0,92	ns	ns	ns	ns
GPX	ns	ns	ns	0,57	0,62	ns
PUT	0,86	ns	ns	0,44	ns	ns
SPD	ns	ns	-0,66	0,45	-0,40	ns
SPN	ns	ns	-0,59	ns	-0,43	ns

21. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és terméskomponenseinek főkomponens analízise természetes csapadékellátottság esetén (Tükrösi tenyészker, 2013-2014)

**M22. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (NILs kísérlet)**



22. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai, biokémiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek Pearson-féle korrelációs együtthatói, öntözetlen kezelésben (Tükrösi tenyészkert, 2013-2014)

A korrelációs koefficiens kritikus r-értékei: 0,6319 ( $P \leq 0,05$ ); 0,7646 ( $P \leq 0,01$ ); 0,8721 ( $P \leq 0,001$ )

## M23. A felvételezett tulajdonságok leíró statisztikája (NILs-RS)

	SPAD45		SPAD65		SPAD77		SPAD83		SPAD85		FLA		PLA		FLC		BE		TE		PL	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
<b>KOFA</b>	44,50c	44,85c	51,95a	47,85b**	49,23a	47,05a	43,13a	24,60bc*	6,18b	5,93c	25,27d	22,11d	124,24b	50,64c**	45,08bc	39,92ab*	61,25b	52,25bc**	68,17b	58,67bc**	16,17bc	12,33bc*
<b>NIL1—</b>	45,25bc	45,88bc	51,5a	47,87b**	46,58b	41,85de**	37,95c	24,83b**	5,68c	6,10bc	32,95b	28,29a*	151,00a	65,81a**	41,08ed	38,17b	49,83e	47,25e	55,42g	53,42e	8,75e	9,08d
<b>NIL1++</b>	47,55a	45,93bc	52,18ab	49,55a*	49,90a	47,68a	39,15bc	25,63ab**	7,13a	7,23a	35,76a	26,43b**	124,35b	63,40a**	45,75b	40,67ab	61,50b	52,41bc**	67,33bc	58,50bc**	15,75c	11,75c*
<b>NIL2—</b>	44,28c	46,75ab	50,53b	46,07c**	42,20d	42,68cd	35,90d	24,48bc*	3,13h	3,43h	20,37e	22,77d	106,66d	53,46bc**	43,42c	40,92a	59,25c	52,66bc*	65,58c-e	57,67c*	15,83bc	11,75c*
<b>NIL2++</b>	42,98d	44,65c	49,8c	43,87d**	42,90cd	40,70e	37,08cd	23,80bc*	3,78f	3,18i	21,13e	19,56e	94,46e	43,54d**	40,67e	39,92ab	58,17c	52,00cd*	64,50e	57,58c*	17,50a	12,08c**
<b>NIL3—</b>	44,35c	46,35b	51,20b	47,82b*	46,60b	43,60bc	40,73ab	24,25bc*	3,55g	3,73g	24,62d	21,90d	122,64b	54,80bc**	43,58c	39,50b	60,25b	54,50a*	66,33cd	59,08bc*	16,67a-c	15,00a
<b>NIL3++</b>	45,18bc	47,70a	50,75bc	48,53ab	46,40b	42,00de*	39,73bc	24,08bc**	5,55cd	6,20b*	25,50d	24,34c	123,96b	55,63bc**	48,91a	38,92b**	65,25a	51,25cd**	71,50a	61,83a**	16,33bc	12,33bc*
<b>NIL4—</b>	45,63bc	46,45ab	49,05c	48,08b	46,75b	44,40b	39,80bc	22,60c**	4,18e	4,70f	25,29d	24,06cd	107,26d	56,02bc**	47,58a	41,50a	64,41a	53,91ab**	69,92a	59,50b**	16,83ab	12,42bc*
<b>NIL4++</b>	46,08b	45,68bc	52,45a	47,62b**	45,60b	45,05b	40,10b	27,45a**	5,45d	5,23e	29,31c	25,45bc*	122,49b	53,50bc**	42,08d	38,25b	54,08d	50,42d	59,67f	55,58d	12,00d	12,17bc
<b>SVEVO</b>	42,85d	44,08c	50,03b	45,42c**	44,08c	42,58cd	40,40b	24,38bc**	5,50cd	5,53d	24,59d	22,11d	115,57c	59,32ab**	43,50c	39,25b	59,42c	52,41bc*	65,08ed	58,08bc*	15,92bc	13,17b
	NL		SS		SKNM		SNM		SWM		BSM		ASM		TGWM		SNS		SWS		TGWS	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
<b>KOFA</b>	33,00a	28,50cb**	6,91a	6,41a	15,75c	16,06c	42,56a	33,19ab*	2,14b	1,36c***	1,86cd	5,17d	0,38b	0,74ab	50,22d	39,72e**	82,37a	49,25cd**	3,88a	1,67d***	48,00c	33,72d***
<b>NIL1—</b>	24,50f	25,50e	5,58de	6,16ab	17,00a	16,68b	37,75c-e	29,38d**	1,77e	1,30cd*	1,86cd	5,02d	1,38a	0,37b	46,77e	43,77d	68,00c	46,75de**	2,62d	1,90c*	38,28e	40,58b
<b>NIL1++</b>	32,58ab	27,75c**	5,83cd	6,08b	16,31b	17,12a	39,75b	33,81ab	2,07bc	1,53ab**	0	2,99e	0,76b	1,08a	52,08cd	44,79cd*	74,37b	60,00a*	3,22c	2,42b*	44,11d	40,64b
<b>NIL2—</b>	30,50d	26,75d**	6,33b	5,00d**	14,88d	14,38gh	37,50d-f	28,06e**	2,00cd	1,32cd**	1,26d	7,32ab**	0	0,42b	53,29c	46,64bc	59,38d	42,75ef*	2,69d	1,61d**	45,52d	37,71c*
<b>NIL2++</b>	32,58ab	26,67d**	6,33b	5,58c	14,31e	15,44d	35,31gh	31,69bc	2,00cd	1,52ab*	2,33a-c	6,48bc*	0	0	56,73b	47,71b*	75,62b	48,13cd**	3,76ab	1,66d***	49,76bc	34,20d***
<b>NIL3—</b>	32,58ab	30,00a	6,08bc	4,58e**	14,38e	14,81ef	36,25e-g	30,25cd	2,06bc	1,42bc**	1,72cd	8,10a***	0,79b	0	56,70b	46,42bc*	60,38d	43,00ef*	3,07c	1,75cd***	50,90ab	40,53b**
<b>NIL3++</b>	32,17ab	28,58bc*	6,25b	5,58c	14,56ed	15,06d-f	38,56b-d	30,56cd*	2,45a	1,59a***	2,58a-c	2,88e	0,79b	0	64,06a	52,43a**	81,62a	63,12a**	3,87ab	2,85a**	47,81c	45,38a
<b>NIL4—</b>	31,75bc	29,08b	5,50e	5,58c	14,31e	15,18de	34,13h	27,69c*	1,92d	1,22d***	3,02ab	5,76cd	0,40b	0,43b	56,35b	43,64d**	58,88d	41,75f*	3,06c	1,71cd***	53,03a	40,61b**
<b>NIL4++</b>	27,25e	26,75d	5,58de	5,17d	14,31e	14,69b	35,69f-h	30,00cd	1,99cd	1,41bc**	3,15a	5,60cd	1,85a	0	55,55b	46,57bc*	76,00b	52,00bc**	3,66b	2,29b***	48,04c	43,90a
<b>SVEVO</b>	31,17cd	28,91b	5,67de	5,66c	14,88d	14,06h	39,88b	35,00a	2,08bc	1,61a*	1,97b-d	3,18e	0	0	52,20cd	44,71cd*	62,63d	54,37b	3,06c	1,88c***	49,06bc	34,62d***

23. melléklet. Nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzs és két fajta felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött és öntözetlen kezelésben. A táblázatban az átlagértékeket követő különböző betűk jelzik a törzsek közötti szignifikáns különbségeket (P=0,05) kezelésen belül, Duncan's Multiple Range Test alapján. \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget a kezelések között (Esősátor, 2014)

**M24. QYld.idw-3B— és QYld.idw-3B++ tavaszi durumbúza közel izogén törzsek leíró statisztikája (NILs-RS, 2014)**

1.)	SPAD77		SPAD83		SPAD85		FLA		PLA		FLC		BE		TE		PL		NL	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL—	45,53	42,00	36,09	22,79	4,13	4,49	25,81	24,26	121,89	57,52	43,92	40,02	58,44	52,08	64,31	57,42	14,52	12,06	29,83	27,83
NIL++	46,20*	44,38**	40,70*	26,08*	5,48**	5,46**	27,93	23,95	116,32	54,02	44,35	39,44	59,75	51,52	65,75	58,38	15,40	12,08	31,15	27,44
LSD5%	0,52	1,29	3,84	3,12	0,40	0,45	6,42	1,72	14,36	10,09	3,53	1,94	3,83	2,84	4,43	5,78	1,65	2,62	1,83	1,70
LSD1%	0,96	2,37	7,05	5,72	0,74	0,84	11,79	3,16	26,35	18,52	6,48	3,56	7,04	5,22	8,13	10,62	3,03	4,82	3,36	3,13
LSD0.1%	2,13	5,26	15,60	12,66	1,65	1,86	26,10	6,99	58,31	40,99	14,35	7,87	15,58	11,56	17,99	23,49	6,70	10,67	7,44	6,92
1.)	EL		SKNM		SNM		SWM		BSM		ASM		TGWM		SNS		SWS		TGWS	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
NIL—	5,87	5,33	15,14	15,27	36,41	28,84	1,94	1,31	1,97	6,55	0,64	0,31	53,28	45,12	61,66	43,56	2,86	1,74	46,93	39,86
NIL++	6,00	5,60	14,88	15,58	37,33	31,52**	2,13	1,51**	2,01	4,49	0,85	0,27	57,11*	47,88*	76,91	55,81**	3,63**	2,31**	47,44	41,03
LSD5%	0,84	1,08	1,12	0,68	5,84	1,41	0,35	0,10	3,69	3,63	1,65	0,49	3,15	2,53	15,40	4,59	0,27	0,15	5,94	1,79
LSD1%	1,55	1,99	2,06	1,25	10,73	2,58	0,65	0,19	6,78	6,66	3,04	0,91	5,78	4,64	28,27	8,44	0,50	0,28	10,91	3,28
LSD0.1%	3,44	4,40	4,57	2,77	23,74	5,72	1,44	0,42	15,00	14,74	6,72	2,02	12,80	10,28	62,56	18,67	1,12	0,62	24,15	7,27
2.)	APX		GPX		PUT		SPD		SPN											
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW										
NIL—	988,72	710,54***	673,44	2884,26***	274,99	673,67***	198,13	319,94***	210,29	249,13**										
NIL++	954,97	645,88***	699,70	2086,03***	213,18	595,14***	169,06	303,83***	199,24	277,96***										
LSD5%	167,49	82,90	323,11	394,14	58,96	369,95	36,88	25,98	33,14	82,13										
LSD1%	307,41	152,16	593,02	723,38	136,00	853,37	85,07	59,93	76,44	189,46										
LSD0.1%	680,19	336,68	1312,16	1600,61	433,01	2717,00	270,86	190,83	243,38	603,23										

24. melléklet. *QYld.idw-3B—* és *QYld.idw-3B++* izogén törzsek felvételezett egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai tulajdonságainak és a vizsgált terméskomponenseinek átlagértéke öntözött és öntözetlen kezelésben (Esősátor, 2014)

1.) \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget kezelésen belül a *QYld.idw-3B—* és *QYld.idw-3B++* törzsek között,  $P < 0,05$ ; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten

2.) \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikáns különbséget a kezelések között,  $P < 0,05$ ; 0,01 és 0,001 valószínűségi szinten

## M25. A felvételezett tulajdonságok közötti korrelációs kapcsolat (NILs-RS)

	APX	GPX	PUT	SPD	SPN	SPAD45	SPAD65	SPAD77	SPAD83	SPAD85	FLA	SNM	SNS	SWM	SWS	TGWM	TGWS
n.v.	5	5	5	5	5	16	16	16	16	16	8	16	16	16	16	16	16
<b>APX</b>	-																
<b>GPX</b>	0,721***	-															
<b>PUT</b>	-0,015	0,146	-														
<b>SPD</b>	-0,455**	-0,275	0,542***	-													
<b>SPN</b>	-0,294	-0,209	0,569***	0,498***	-												
<b>SPAD45</b>	-0,220	0,039	0,293	0,205	0,254	-											
<b>SPAD65</b>	-0,197	-0,269	-0,329*	-0,191	-0,179	0,182	-										
<b>SPAD77</b>	-0,006	-0,093	-0,478**	-0,155	-0,357	-0,025	-0,012	-									
<b>SPAD83</b>	-0,297	-0,282	-0,143	0,138	-0,207	-0,428**	0,078	0,053	-								
<b>SPAD85</b>	-0,433**	-0,331*	-0,195	0,265	-0,074	0,078	0,310	0,060	0,303	-							
<b>FLA</b>	-0,421**	-0,234	-0,003	0,375*	-0,071	0,141	0,124	0,196	0,220	0,457**	-						
<b>SNM</b>	-0,291	-0,457**	0,534***	0,496***	0,481**	0,450**	-0,102	-0,069	-0,132	0,112	0,077	-					
<b>SNS</b>	-0,292	-0,378*	-0,133	0,219	0,154	-0,004	0,246	0,101	0,036	0,649***	0,201	0,256	-				
<b>SWM</b>	-0,446**	-0,223	0,383*	0,352*	0,399**	0,682***	-0,030	-0,162	-0,118	0,042	0,141	0,668***	0,142	-			
<b>SWS</b>	-0,465**	-0,380*	-0,162	0,120	0,006	0,110	0,259	0,154	0,078	0,622***	0,426**	0,152	0,853***	0,305*	-		
<b>TGWM</b>	-0,396**	0,021	0,106	0,112	0,153	0,580***	0,067	-0,177	-0,033	-0,007	0,141	0,152	0,025	0,835***	0,317*	-	
<b>TGWS</b>	-0,490**	-0,246	-0,062	-0,040	-0,156	0,174	0,149	0,120	0,097	0,264	0,520**	-0,030	0,226	0,355*	0,695***	0,505**	-

25. melléklet. Nyolc közel izogén törzs és két fajta felvételezett morfológiai, fiziológiai, biokémiai tulajdonságai és a vizsgált terméskomponensek Pearson-féle korrelációs együtthatói öntözetlen kezelésben (Esősátor, 2014). \*, \*\* és \*\*\* jelöli a szignifikancia szintet ( $P < 0.05$ , 0.01 és 0.001 valószínűségi szinten); n.v.: ismétlésszám

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni az MTA ATK főigazgatójának, Balázs Ervin akadémikus úrnak, hogy a rendelkezésemre álltak mindazon szellemi, tárgyi és anyagi feltételek, amelyek lehetővé tették szakmai fejlődésemet és PhD dolgozatom elkészítését.

Köszönettel tartozom Bedő Zoltán akadémikus úrnak és témavezetőmnek, dr. Láng Lászlónak azért a maximális bizalomért, amit kaptam tőlük és rábízta a DROPS EU-FP7 négy éves uniós pályázat kísérleti munkáit durumbúzában. Nagyon szerettem a project minden feladatát, a téma választásából adódóan pedig rengeteget tanulhattam a különböző tudományterületek ismeretanyagából.

Hálás köszönettel tartozom dr. Karsai Ildikó témavezetőmnek a PhD dolgozatom elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségéért és az elmúlt évek közös kutatómunkájáért. Köszönöm azt a bizalmat, támogatást és pozitív erőt, amit a kutatóintézethez kerülésem óta kapok tőle.

Őszinte köszönet illeti a Kalászos Gabona Nemesítési Osztály és a Molekuláris Nemesítési Osztály valamennyi dolgozóját, akikre mindig számíthattam a szántóföldi munkák során és mind a szervezésben, mind a kivitelezésben mellettem álltak.

Kiemelten köszönöm Illés Klára és Kissné Horgas Hanna munkatársnőimnek a sok túlórárt és hétvégi munkákat, mindig 100%-osan számíthattam rájuk. Köszönöm Mayer Mariannak, Tóth Violának, Babácsiné Bernadettnek, Bosnyákné Mártinak, Puskásné Zsuzsának, Varga Edinának, Szeidlé Larisának, Babácsi Zsoltnak, Bodnár Dezsőnek, Böcs Attilának, Csongár Tibornak, Horváth Imrének és Macsuga Joachimnak a mérésekben, számolásokban való precíz munkájukat. Köszönöm dr. Pál Magdának az antioxidáns és enzim-mérésekben nyújtott hatalmas segítségét, munkája mindig példaértékű számomra. Köszönöm dr. Fodor Nándornak a talajvizsgálatokban, Monostori Istvánnak az esősátoros kísérletben, dr. Vida Gyulának, dr. Kuti Csabának és dr. Kiss Tibornak a statisztikai kiértékelésekben nyújtott önzetlen segítségüket. dr. Mészáros Klárának és dr. Spitkó Tamásnak szeretném megköszönni, hogy a négyéves kísérleti munka során kérdéseimre és kéréseimre mindig segítettek választ találni.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom családomnak a türelmükért és támogatásukért.