# DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

**ARANYI NIKOLETT RÉKA**

DOI: 10.18136/PE.2015.589

**PANNON EGYETEM**
**GEORGIKON KAR**

**KESZTHELY**
**2015**

PANNON EGYETEM
GEORGIKON KAR

FESTETICS
DOKTORI ISKOLA

Iskolavezető:
DR. ANDA ANGÉLA, D.SC.
egyetemi tanár

Témavezető:
DR. HOFFMAN BORBÁLA PH.D.
egyetemi docens

# BÚZA-ÁRPA INTROGRESSZIÓS VONALAK CITOLÓGIAI ÉS AGRONÓMIAI ELEMZÉSE

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS

ARANYI NIKOLETT RÉKA
Okleveles növényorvos (M.Sc.)

KESZTHELY
2015

**Búza-árpa introgressziós vonalak citológiai és agronómiai elemzése**
Értekezés doktori (Ph.D.) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
**ARANYI NIKOLETT RÉKA**

Készült:
PANNON EGYETEM
FESTETICS
DOKTORI ISKOLA

Témavezető: Dr. Hoffmann Borbála

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

…….
Dr. Hoffmann Borbála

A jelölt a doktori szigorlaton .....%-ot ért el.

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: …..... igen /nem

…….
(aláírás)

Bíráló neve: …..... igen /nem

…….
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ….....%-ot ért el.

Keszthely,

…….
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése….....

……
Az EDHT elnöke

# TARTALOM

**Rövidítések jegyzéke** ..... 6
**1. KIVONATOK** ..... 7
Magyar nyelvű kivonat ..... 7
Abstract ..... 9
Auszug ..... 11
**2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS** ..... 13
**3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS** ..... 16
**3.1 Búza-árpa introgressziós vonalak előállítása** ..... 16
**3.2 Búza-árpa addíciós vonalak stabilitása** ..... 17
**3.3 Búza-árpa addíciós vonalak morfológiai és agronómiai jellemzése** ..... 18
**3.4 Idegenfajú hibridek szerepe a lisztharmat gomba gazdanövénykörének bővülésében** ..... 20
**3.5 A szárazságstressz és az idegenfajú hibridek szerepe a búza szárazságtűrésének javításában** ..... 21
3.5.1 A szárazságstressz, adaptációs stratégiák és a szárazságtűrés ..... 21
3.5.2 A vízhiány hatása a növekedésre ..... 23
3.5.3 Vízhiány hatása a termésre ..... 24
3.5.4 A növény vízállapota és a vízhasznosító képesség szerepe a stressz adaptációban ..... 26
3.5.5. Vízhiány hatása a fotoszintézisre ..... 27
3.5.6. Szárazságtűrő búza genotípusok szelekciója stressztolerancia indexek segítségével ..... 28
**4. ANYAG ÉS MÓDSZER** ..... 30
**4.1 A vizsgált növényi anyag** ..... 30
**4.2 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotípusos tulajdonságainak vizsgálata** ..... 30
4.2.1 Csírázási kísérletek ..... 30
4.2.2 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása tenyészedényes kísérletekben ..... 31
4.2.3 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása szabadföldi kísérletekben ..... 31
**4.3 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata** ..... 33
4.3.1 Búza-árpa addíciós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata tenyészedényes kísérletben, Martonvásáron ..... 33
4.3.2 A 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL búza-árpa vonalak gyökérzetének és szárazságtűrésének vizsgálata „homokcsöves” kísérletben, Keszthelyen ..... 33
4.3.3 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata szabadföldi kísérletben, Keszthelyen ..... 35
4.3.4 Szárazság tolerancia indexek számítása ..... 39
**4.4 Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülésének eshetőségét ellenőrző vizsgálatok** ..... 41
4.4.1 Lisztharmat fertőzés mértékének felmérése a szabadföldi állományban ..... 41

4.4.2 Molekuláris genetikai vizsgálatok ..... 41
4.4.3 Direkt fertőzési vizsgálatok ..... 42
**4.5 Molekuláris citogenetikai vizsgálatok** ..... 43
4.5.1 Addíciós vonalak citogenetikai ellenőrzése ..... 43
4.5.2 Eltérő morfológiájú egyedek ellenőrzése ..... 44
**4.6 Statisztikai értékelés** ..... 44
**5. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK** ..... 45
**5.1 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotípusos tulajdonságainak vizsgálata** ..... 45
5.1.1 Csírázási kísérletek ..... 45
5.1.2 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása tenyészedényes kísérletekben ..... 49
5.1.3 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálása szabadföldi kísérletekben ..... 53
5.1.4 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálásának összegző értékelése ..... 60
**5.2 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata** ..... 63
5.2.1 Búza-árpa addíciós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata tenyészedényes kísérletben, Martonvásáron ..... 63
5.2.2. A 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL búza-árpa vonalak gyökérzetének és szárazságtűrésének vizsgálata „homokcsöves” kísérletben, Keszthelyen ..... 69
5.2.3. Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata szabadföldi kísérletben, Keszthelyen ..... 76
5.2.4. Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének értékelése ..... 87
**5.3. Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülésének lehetőségét célzó vizsgálatok** ..... 93
5.3.1. Lisztharmat fertőzés mértékének felmérése a szabadföldi állományban ..... 93
5.3.2. Molekuláris genetikai vizsgálatok ..... 95
5.3.3. Direkt fertőzési vizsgálatok ..... 96
5.3.4. Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülését célzó vizsgálatok értékelése ..... 97
**5.4 Molekuláris citogenetikai vizsgálatok** ..... 98
5.4.1 Addíciós vonalak citogenetikai ellenőrzése ..... 98
5.4.2 Eltérő morfológiájú egyedek ellenőrzése ..... 99
5.4.3 Citológiai vizsgálatok értékelése ..... 101
6. ÖSSZEFOGLALÁS ..... 102
7. TÉZISPONTOK ..... 106
**7.1 Tézispontok magyarul** ..... 106
**7.2 Thesis points** ..... 108
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ..... 110
9. MELLÉKLETEK ..... 111
9.1 Zadoks fejlődési skála ..... 111
10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK ..... 113
11. IRODALOM JEGYZÉK ..... 118

# RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ESZT: ezerszemtömeg

HI: harvest index

RWC: relatív víztartalom

QTL: quantitave trait locus

WUE: vízhasznosító képesség

SSI: stressz érzékenységi indexet

TOL: stressz tolerancia

MP: átlagos termésmennyiség

HM: harmonikus átlag

YI: termés index

YSI: termés stabilitás index

STI: stressz tolerancia index

F0: minimális fluoreszcencia szint

Fm: maximális fluoreszcencia szint

Fv: változó fluoreszcencia

Fv/Fm: a PS II optimális kvantum hatásfoka

ΔF/Fm': a PSII effektív kvantumhatásfoka

NPQ: nem fotokémiai fluoreszencia kioltás

FW: friss levél tömege

TW: vízzel telített levél tömege

DW: levél száraz tömege

A: nettó $CO_2$-fixálás

gs: sztómakonduktancia

Mv9: Martonvásári 9 őszi búza

kr1: 1-es keresztezhetőségi gén

# 1. KIVONATOK

## Magyar nyelvű kivonat

### Búza-árpa introgressziós vonalak citológiai és agronómiai elemzése

A búza (*Triticum aestivum* L) és az árpa (*Hordeum vulgare* L.) a két legfontosabb és legértékesebb kalászos gabonanövényünk. Az árpa számos kedvező tulajdonsággal rendelkezik (pl.: szárazság- és só tolerancia, koraiság, kedvezőbb táplálkozási értékek stb.), így potenciális forrást jelent a búza nemesítésében. Korábban a legtöbb kutatócsoport által előállított árpa-búza, ill. búza-árpa vonalakat főként citológiai szempontból értékelték és fertilitásukat vizsgálták. A Martonvásáron létrehozott búza-árpa keresztezésből származó növényekkel korábban végeztek morfológiai vizsgálatokat, azonban kevés információ áll rendelkezésünkre arról, hogy az árpa kromoszómák milyen hatással vannak a búza agronómiai tulajdonságaira – különös tekintettel a szárazságtűrésére – szabadföldi körülmények között.

A doktori munka során az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézetben létrehozott Mv9 kr1 × Igri addíciós és transzlokációs vonalakat, valamint (Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1 addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalakat vizsgáltuk tenyészedényes és szabadföldi kísérletekben. Célunk az árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatásának tanulmányozása volt az őszi búza értékmérő tulajdonságaira, valamint szárazságtűrésére. A tritikálé lisztharmat (*Blumeria graminis*) gazdanövénykörének bővülésében játszott szerepe felhívta a figyelmünket az intergenerikus hibridek ilyen jellegű hatására. Ezért vizsgáltuk a búza-árpa keresztezéséből származó vonalak árpalisztharmattal szembeni fogékonyságát is. A fajhibridek fenntartása állandó citológiai kontrollt igényel, így munkánk során ellenőriztük az addíciós vonalak stabilitását, valamint a morfológiailag eltérő egyedek kromoszómaszámának változását.

A korai egyedfejlődés során a rügyecske növekedését a 2H, 3H és 3HS árpa kromoszóma befolyásolta, míg a gyököcske növekedését a 2H, 4H, 6HS és a 7H árpa kromoszóma. A rügyecske és a gyököcske tömegét növelte a 3H és az 5H árpa kromoszóma rövid karjának jelenléte.

A vizsgált genotípusok közül a legkorábbi a 7H addíció, míg a legkésőbbi a 4H volt. Az Mv9 kr1 őszi búzánál egyedül a 7H virágzott korábban, a 2H, 3H és 4H vonal pedig későbbi volt.
A levélfelületet növelte a 2H és 6HS kromoszóma jelenléte, míg csökkentette az 5HS és a 7H. A 3H, 7H, 3HS.3BL és a 4H(4D) jobban bokrosodott, mint az Mv9 kr1 őszi búza. Azonban a 3H addíció bokrosodó képessége csak a szabadföldi vizsgálatainkban érvényelsült. A 3H kromoszóma hatására magasabb szemszámot és termést adtak a növények. Ezzel szemben a 7H addíciós vonal gyenge fertilitása miatt a legkevesebb szemszámot és termést adta. Az Mv9 kr1 × Igri búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálásának eredményei megerősítik a Martonvásáron végzett megfigyelési eredményeket.
Tenyészedényes kísérletekben kimutattuk, hogy kielégítő vízellátás és mérsékelt vízhiány mellett a 4H kromoszóma a gyökérzet növekedését eredményezte, míg a 2H kromoszóma jelenléte mellett csökkent a gyökértömeg. Erősebb stressz hatására a 4H és a 4H(4D) vonalak gyökértömege is csökkent, azonban a hossznövekedés fennmaradt, és nőtt a mélygyökerek tömegének aránya.
Szabadföldi szárazságtűrésre irányuló kísérleteinkben a vízhiány hatására a relatív víztartalom kevésbé csökkent a 4H és 6HS kromoszómát tartalmazó növényeknél. A sztómakonduktancia és a fotoszintézis mértéke a 2H és 6H addíciós vonalaknál nem csökkent. A szárazságtolerancia indexek közül az STI, MP, GMP és YI alapján a 2H, 3H és 3HS.3BL a vízhiányt toleráló genotípusoknak találtuk. Ezek a vonalak nagy termőképességgel rendelkeztek, bár a vízhiány nagymértékű termésveszteséget okozott. Ezzel szemben a 4H, 4H(4D) és 6HS vonalak termése kevésbé csökkent. Az SSI, TOL és YSI alapján szárazságtűrőnek bizonyultak, azonban ezen genotípusok termőképessége kisebb volt.
Az árpa lisztharmat direktfertőzési kísérlet eredménye szerint a *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* nem képes megfertőzni a búza-árpa keresztezésből származó növényeket. Azonban a szabadföldi, természetes lisztharmatfertőzés során azonosított *B. g.* f.sp. *tritici* 14-es izolátuma igen, bár eltérő mértékben. Ezen eredmények alapján az árpa kromoszómák nemesítési anyagokba vitele lehetőséget adhat a lisztharmattal szembeni fogékonyság csökkentésére az új kenyérbúza genotípusokban.
Az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak citológiai vizsgálata szerint a 2H és 3H kromoszóma volt legstabilabban jelen és a 7H addíciós vonal is jó stabilitást mutatott. A 4H kromoszóma a tesztelt növények 9,7 %-nál teljesen eliminálódott. A 6HS addíció esetében találtuk a legkevesebb diszómás növényt (78,4 %), és a legtöbb monoszómás növényt (16,2 %). Az eltérő morfológiájú egyedek megjelenését az árpa kromoszóma teljes vagy részbeni eliminálódása okozta.

# Abstract


## Examination of cytology and agronomical traits of wheat-barley introgression lines

Wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) are two of the most important cereal crops in the world. Barley has several desirable agronomic characters (e.g. tolerance to drought and soil salinity, earliness and various traits for specific nutritional quality etc.) that are potentially useful for wheat improvement. The barley-wheat or wheat and barley lines were studied mainly fertility and cytological point of view. The effect of the added barley chromosomes on morphological characters was studied by Martonvásár, but little information is available about the impact of barley chromosomes of wheat agronomic traits.

Wheat–barley addition, substitution and translocation lines developed from 'Martonvásári 9 kr1' × 'Igri' crosses, and ('Chinese Spring' × 'Betzes') 'Mv9 kr1' crosses were examined to determine how the added barley chromosomes (or segments) influence morphological and agronomic traits, especially drought tolerance. On the other hand we detailed study of the infection of fungal biotrophic pathogens causing powdery mildew diseases on introgression lines and we investigated whether barley powdery mildew can infect the hybrids originating from wheat-barley crosses. The hybrids maintenance require constant cytological control, so we checked the stability of the addition lines, as well as changes in the chromosome number of morphologically different plants.

During early ontogeny shoot development was influenced by the 2H, 3H and 3HS chromosomes, while the growth of the radicle was affected by the 2H, 4H, 7H and 6HS barley chromosomes. Regarding anthesis and maturity, the 7H addition line was the earliest, whereas the 4H addition was the latest to mature. The 7H addition line was earlier flowering compared with the Mv9 kr1wheat parent.

The addition of chromosomes 2H and 6HS increased the flag-leaf area. The 3H, 7H, 3HS.3BL and 4H(4D) lines produced more tillers per plant than Mv9 kr1 wheat, but the tillering ability of the 3H addition was only manifested in the field. The presence of the 3H chromosome resulted in higher seed number and yield, while the 7H addition had the lowest fertility. The present study confirms the morphological results of Martonvásár.

In the greenhouse experiments root production increased in the 4H addition line in the case of satisfactory water supplies or moderate water deficit, but was significant decreased by the presence of 2H or 3H. In response to more severe water deficit the root weight of lines 4H and 4H(4D) also declined, though root growth was maintained and the ratio of deep roots in the total root weight increased.

The drought tolerance of wheat-barley introgression lines was also studied in field experiments. The relative water content of plants carrying chromosomes 4H and 6HS decreased to a lesser extent in response to drought. Stomatal conductance and the rate of photosynthesis were reduced for all the genotypes with the exception of the 2H and 6H addition lines. Based on the STI, MP, GMP and YI drought tolerance indexes the 2H, 3H and 3HS.3BL lines were drought-tolerant. These wheat–barley lines had high yield performance, though their yield reduction under drought conditions was greater than average. In contrast, 4H, 4H(4D) and 6HS were found to be drought-resistant genotypes based on the SSI, TOL and YSI indexes, but despite their less pronounced yield reduction their yield performance was also low.

The results of the inoculation experiments showed that barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) was not able to infect plants containing an added barley chromosome (or segment). The results of the inoculation experiments showed that barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) was not able to infect plants containing an added barley chromosome (or segment), though varying extents of *B. graminis* f.sp. *tritici* infection were recorded during natural powdery mildew infection in the field. The 4H addition line was susceptible to the disease, while no symptoms appeared on the leaves of the 6H addition.

Cytological analysis demonstrated that the 2H and 3H chromosome addition lines were the most stable of the Mv9 kr1 × Igri additions, while the 7H addition also showed good stability. Chromosome 4H was most frequently eliminated completely, while the lowest number of disomic plants was found for the 6HS addition. The appearance of plants with different morphology caused by the complete or partial elimination of the barley chromosome.

# Auszug

## Die Analyse der zytologischen und agronomischen introgressiven hypridization Linien der Weizen-Gerste

Der Weizen (*Triticum aestivum* L.) und die Gerste (*Hordeum vulgare* L.) sind unsere hochkarätigsten Getreidepflanze. Die Gerste hat viele günstige Eigenshaften (z.B. Toleranz für Trockenheit und –Salz, Frühzeitigkeit, günstige, alimentäre Validitäten), so bedeutet es eine potenzielle Quelle bei der Sublimierung der Gerste. Die Bastardierung der zwei Gattung beschäftigen die Forscher seit dem Anfang der XX. Jahrhundert. Die Linien der vorgestellte Weizen-Gerste, bzw. Gerste-Weizen haben sie vorwiegend aus zytologischer Aspekt bewertet und ihre Ertragsfähigkeit geprüft. So steht es weinige Informationen zur unseren Verfügung, welche Wirkungen die Chromosomen der Gerste an der agronomischen Eigenschaft des Weizens hat.

Der Lauf der PhD Arbeit haben wir in dem MTA-MTK Landwirtschaftliche Institut mit der Lenkung von Dr. Lángné Dr. Molnár Márta die Additional und Translokation Linien Mv9 kr1 × Igri, sowie die Additional, Substitution und Translokationen Linien (Chinese Spring x Betzes) Mv9 kr1 in dem Glashaus und freilanden Experiment geprüft. Unsere Ziel ist die Nachforschung der Studie der Chromosomen, bzw. Segmente des Chromosomen an der Wertmaße Qualität der herbstliche Gerste, sowie die Tolerierung der Trockenheit gewesen. Die Funktion in dem Erweiterungskreis des Wirtspflanzens des Triticale Meltau (*Blumeria gramminis*) hat auf der solchen Wirkung der Hybriden aufmerksam gemacht. Deswegen haben wir die Linien von der Kreuzung der Weizen-Gerste auch gegen der Empfänglichkeit der Gerste-Meltau analysiert. Die Erhaltung der Linien braucht eine beständige Kontrolle, so haben wir wärend unseres Arbeit die Stabilität der additionalen Linien kontrolliert, sowie die Veränderung des morphologisch-verschiedenen Einzelding.

Im Laufe der früheren Ontogenese hat das 2H, 3H und 3HS Gerstechromosom der Wachstum des Schlößlingchens beeinflusst, derweil der Wachtum des Würzelchens hat das 2H, 4H, 6HS unde 7H Gerstechromosom affiziert hat. Die Masse des Schlößlingchens und des Würzelchens hat das Beisein des 3H und 5H kurzen Arm von Gerstechromosomes ampfliziert. Aus der geprüften Genotypen war am frühersten der 7H additional Linie, sowie am spätestens der 4H. Bei der Mv9 krl herbstliche Weizen hat nur der 7H geblüht, die 2H, 3H, und 4H Linie hat am spätestens geblüht. Die Blattfläche hat das Beisein das 2H und 6HS

Chromosom gesteigert, indem hat es das 5HS und 7H Chromosom reduziert. Das 3H, 7H, 3HS.3BL und 4H (4D) hat besser staudent, wie der Mv9 krl herbstliche Weizen. Aber die stauende Befähigung der 3H additional Linie hat sich nur im unserem ablandigen Examen durchgesetzt. Auf der Wirkung des 3H Chromosom geben die Pflanzen höheren Kornzahl und Erträgnis. Dagegen hat es 7H additional Linie wegen der Fruchtbarkeit der wenigste Kornzahl und Erträgnis ergeben.

Im Galshäuser haben wir demonstriert, dass das Wasserdargebot befriedigend ist und bei der gemäßigten Wassernot hat es das Wachstum des Wurzelwerks ergeben, derweil der Fall des Beiseins des 2H und 3H. Nach dem strengesten Stress hat sich die Wurzelmasse der 4H und 4H(4D) Linien vermindert, aber das Längenwachstum bleibt zurück, und wächst die Proporzion der Tiefverwuzelung nach Gesamtgewicht bezogen.

In unserem freilandlichen Experiment bei der Trockenheit hat bei der 4H, 6HS Chormosom behatlende Pflanzen wegen der Wassernot der relativ Wassergehalt wenigstens verringert. Das Maß die Offenheit der Stomata und der Fotosynthese hat be der 2H und 6H additionale Linien nicht reduziert. Aus den Trockenheittoleranzindexen haben wir nach der STI, MP, GMP und YI der 2H,3H und 3HS.3BL trockenheittolerierte Genotyp gefunden. Diese Linien verfügten mit großen Ertragfähigkeit, doch nach der Einfluss der Trockenheit hat ihre Ernte in großen Maßen reduziert. Hiergegen hat die Ernte der 4H, 4H(4D) und 6HS Linien wenigstenst reduziert. Anhand SSI, TOL, YSI haben sie sich trockenheitresistent darstellt, aber die waren wenigstens Ertragfähigkeit.

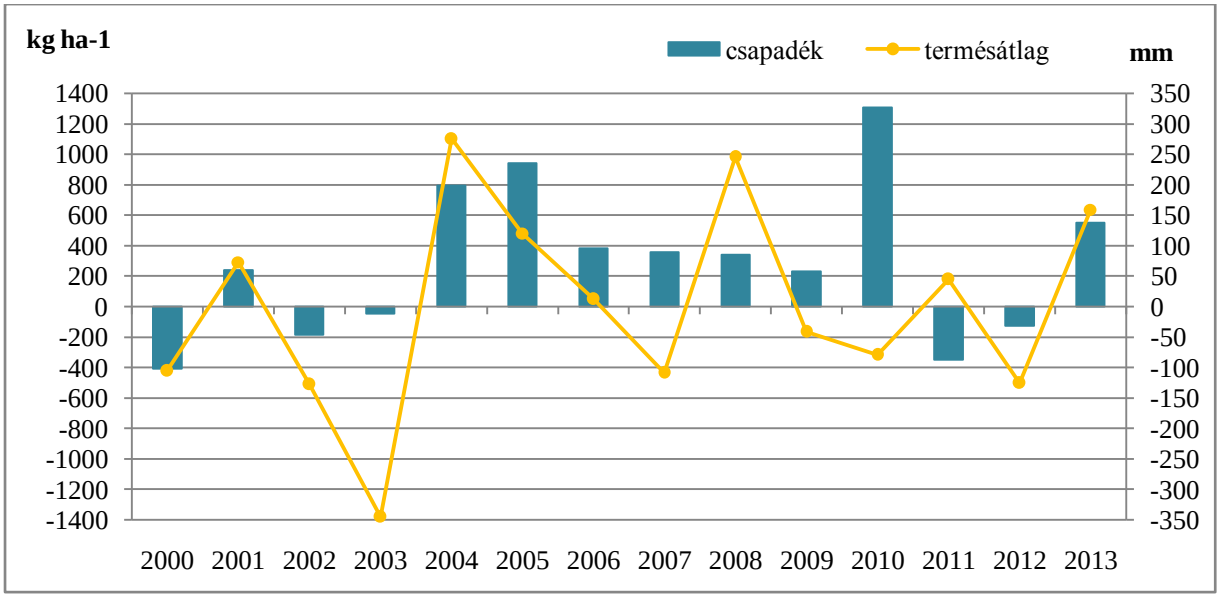
Nach dem Ergebnis der Gerste-Meltau direktbefall-Experiment kann der *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* die Pflanzen aus der Kreuzung der Weizen-Gerste nicht infizieren. Aber bei der freilandliche, natürliche Meltaubefall identifizierte *B. g.* f.sp. *tritici* 14. isolieren kann es infizieren, aber in verschiedenen Maße. Nach diesem Ergebnissen ist es möglich das Gerste-Chromosom in dem sublimierten Materialenbetragung gegen der Ansprechbarkeit der Meltau bei der Neubrot-Weizen Genotypen zu reduzieren.

Nach dem zytologische Examen der Mv9 kr1 x Igri additionale Linien war das 2H und 3H Chromosom am standfesten dabeigewesen und die 7H Linie hat auch eine gute Stabilität gezeigt. Das 4H Chromosom hat völlig im grössten Maß eliminiert indem bei der Begebenheit der 6HS Addition haben wir am wenigstens Pflanzen gefunden. Das Erscheinung der verschiedenen morphologischen Individuen hat das völlige oder teilweise eliminert des Gerstechromosoms verursacht.

# 2.BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Az emberi táplálkozás legmeghatározóbb növényei a gabonafélék, amelyek közül hazánkban a két legfontosabb kalászos faj a búza (*Triticum aestivum* L.) és az árpa (*Hordeum vulgare* L.). A búza legjelentősebb termés korlátozó tényezői a vízhiányból adódó stresszhatások, amelyek a Föld termőterületének több mint negyedét érintik.

Magyarország az atlanti, a mediterrán és a kontinentális éghajlati övek találkozásánál helyezkedik el (Harnos 2003). Éghajlatunk kedvező a búza termesztésére, azonban a csapadék mennyisége az egyes években jelentősen eltérhet és eloszlása is gyakran limitáló tényező lehet. Az aszályos években, mint amilyen a 2002-es, a 2003-as, vagy a 2011-es volt, akár 25%-ot is meghaladó terméscsökkenés jelentkezhet (1. ábra). Különösen jelentős termésveszteséget okoz, ha egymást követő években jelentkezik a szárazság (2011 és 2012).




**1. ábra:** A búza termésátlag és az éves csapadék mennyiség átlagtól való eltérése (FAOSTAT és Országos Vízügyi Főigazgatóság adatai alapján).

A globális klímaváltozás hatására a szélsőséges időjárási elemek, az alacsony vagy magas hőmérséklet, a csapadék hiánya vagy bősége, egyre gyakoribb megjelenésével kell számolni, és növekszik az aszályos időszakok gyakorisága is. Csupán félfokos melegedés a nyári időszakban napfénytartam növekedéssel és csapadék csökkenéssel jár, ami az aszályos periódusok gyakoriságát fokozhatja.

A biztonságos szántóföldi növénytermesztés csak a változó környezethez alkalmazkodni képes fajták nemesítésével lehetséges, amelyek a szárazságot minden fejlődési fázisban megfelelően tolerálják, és amelyek termése a lehető legkisebb mértékben csökken a vízhiány hatására (Lelley 1963; Dudits 2006).

A búza rokonsági körébe tartozó termesztett és vad fajoknak *(Aegilops sp., Agropyron sp., Secale sp., Hordeum sp.)* rendkívül széles a genetikai bázisa számos agronómiai tulajdonság tekintetében. A kedvező tulajdonságok átvitele és beépítése faj-, illetve nemzetség-keresztezésekkel lehetséges (Molnár-Láng és mtsai. 2000b). Az idegenfajú hibridek az elméleti kutatás mellett fontos szerepet játszanak a hosszú távú nemesítési programokban is (prebreeding), mert lehetővé teszik a genetikai variabilitás növelését.

Az árpáról ismert a jó szárazság- és sótűrő képessége, így potenciális forrást jelent a búza stressztűrő képességének javításában. A *Triticum aestivum* L. × *Hordeum vulgare* L. hibridek létrehozásával a világon igen kis számú kutatócsoport foglalkozik. Hazánkban az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézetben hoztak létre addíciós, transzlokációs és szubsztitúciós vonalakat. Ezeknek a vonalaknak a segítségével vizsgálni lehet az egyes árpa kromoszómáknak (szegmentumoknak) a minőségi paraméterekre, biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni ellenállóságra gyakorolt hatását a búza genetikai háttérben. Az előállított búza-árpa hibrideket nagyrészt csak citológiai szempontból értékelték és főleg fertilitásukat vizsgálták. Azonban kevés információ áll rendelkezésünkre arról, hogy az árpa kromoszómák milyen hatással vannak a búza agronómiai tulajdonságaira, és milyen mértékben képesek a búza szárazságtűrését javítani.

Célkitűzéseink:

1. Az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézetben létrehozott *Triticum aestivum* L. × *Hordeum vulgare* L. keresztezéséből származó búza-árpa addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalak részletes morfológiai (növénymagasság, a kalász alakja, hossza, a szemek alakja, nagysága stb.) leírása tenyészedényes és szabadföldi vizsgálatok alapján. Az árpa kromoszómák hatásának tanulmányozása az őszi búza agronómiai tulajdonságaira, mint a virágzás és érés ideje, ill. időtartama, a termés mennyisége, a termés elemek alakulása stb. tenyészedényes és szabadföldi körülmények között.
2. A búza-árpa vonalak szárazságtűrésének tesztelése tenyészedényes és szabadföldi kísérletekben, valamint a vonalak gyökérfejlődésének nyomon követése tenyészedényben.

3. Az egyes vonalak stabilitásának meghatározása, valamint a morfológiai eltérést mutató vonalak vizsgálata molekuláris citogenetikai módszerekkel.
4. Annak a feltevésnek a megválaszolása, hogy az árpa kromoszóma jelenlétének következtében képes-e fertőzni a gazdaspecifikus árpalisztharmat (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) gomba a búza-árpa vonalakat.

# 3.IRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 3.1 Búza-árpa introgressziós vonalak előállítása

A búza rokonsági körébe tartozó termesztett és vad fajok rendkívül széles genetikai variabilitással rendelkeznek számos agronómiai tulajdonság (pl. betegségekkel szembeni rezisztencia, sótressz stb.) tekintetében. Friebe és mtsai. (1996) a búza potenciális génforrásait három csoportba sorolja. A búzával homológ genomokat tartalmazó fajokat a búza elsődleges génforrásának tekintik (pl. különböző *Triticum* fajok vad és termesztett formái, vagy az *Aegilops tauschii* Coss.). Másodlagos génforrások azok a *Triticum* és *Aegilops* fajok, amelyeknek legalább egyik genomja homológ a búzával. Ilyenek például a tetraploid *T. timopheevii* Zhuk. két alfaja, a ssp. *timopheevii* és a ssp. *armeniacum* Jakubz., valamint az *Aegilops* nemzetség *Sitopsis* szekciójába sorolt, S genommal rendelkező fajai. Azok a fajok, amelyek nem tartalmaznak a búzával homológ genomot (pl. *Hordeum, Secale* és *Agropyron* fajok) a búza harmadlagos génforrásai.

Az árpa a búza harmadlagos génforrásaihoz tartozik. A két faj keresztezése a XX. sz. eleje óta foglalkoztatja a kutatókat (Shepherd és Islam 1981), azonban az első sikeres keresztezésről csak 1973-ban számolt be Kruse (1973) dán kutató. Az általa létrehozott hibridek anyai partnere az árpa, az apai pedig a búza volt. Ezután rövid időn belül, több kutatóhely is beszámolt új hibridek létrehozásáról, amelyeknél a leggyakrabban az árpa volt az anyai partner. A keresztezések sikerét meghatározta az alkalmazott szülőpartnerek fajtája, amelyek közül a Chinese Spring tavaszi búza, valamint Betzes és Ketch árpa kombinációi adták a legmagasabb szemszámot (Molnár-Láng és mstai. 2013).

Olyan hibridek létrehozása, ahol a búza az anyai partner, sokkal nehezebbnek bizonyult. Kevesebb kutatóhely és kevesebb kombinációban állított elő búza-árpa hibrideket, amelynek az oka az igen kismértékű szemkötés volt (Fedak 1980; Islam és mstai. 1981; Molnár-Láng és Sutka 1994; Jauhar 1995).

Fedak (1977, 1980) Chiense Spring búza és Betzes árpa fajtákat használt árpa-búza és búza-árpa hibridek létrehozására. Islam és mstai. (1981) 6 különböző kombináció közül csupán a Chinese Spring × Betzes fajtákat tudta sikeresen keresztezni. A lehetséges hét diszómás addíciós vonalból hatot (2H, 3H, 4H, 5H, 6H és 7H) tudtak azonosítani, illetve majd a lehetséges 14 diteloszómás addíciós vonal közül 13-t hoztak létre (Islam 1983; Islam és Shepherd 1990). Később, a létrehozott diszómás addíciós vonalat monoszómás vonalakkal

keresztezve Islam és Shepherd (1992, 1995) szubsztitúciós vonalakat (3H, 4H, 5H, 6H és 7H) hoztak létre. A 2H szubsztitúció sikeres előállításáról Ya-Ping és mstai. csak 2003-ban számolt be.

A Chinese Spring × Betzes kombináción kívül sikeresen állítottak elő búza-árpa hibrideket Norin 12, Norin 61, Schinchuaga, Aoba és Fukuhokomugi búza, valamint Nyugoruden, Kinai 5, Harunanijou és Luther árpa fajtákkal is (Koba és mstai. 1991; Taketa és mstai. 1995; Jauhar 1995). A Shinchunaga × Nyugoruden (New Golden) keresztezéséből Koba és mstai. (1997) két addíciós (5H és 6H), valamint egy transzlokációs (5HS.5BL) vonalat állított elő.

A Chinese Spring könnyebb keresztezhetőségét az 5A, 5B és 5D kromoszómákon található *kr1, kr2* és *kr3* keresztezhetőségi gének jelenléte okozza (Riley és Chapman 1967; Snape és mstai. 1979; Jiang és mstai. 1994). Azonban a Chinese Spring búza számos előnytelen agronómiai tulajdonsággal rendelkezik. Molnár-Láng és mstai. (1996b) sikerrel vitte át a recesszív *kr1* keresztezhetőségi allélt a Chinese Spring tavaszi búza fajtából a jó agronómiai tulajdonságokkal rendelkező Martonvásári 9 (Mv9) őszi búza fajtába. Az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézetben gyakorlati szempontból jelentős, az európai klímához jobban adaptálódott búza- és árpafajtákkal új addíciós (2H, 3H, 4H, 6H, 7H), szubsztitúciós [4H(4D)] és transzlokációs (3HS.3BL, 6B-4H, 7D-5HS, 4HL.4DL) vonalakat hoztak létre (Molnár-Láng és Sutka 1994; Molnár-Láng és mstai. 2000a; Molnár-Láng és mstai. 2000b; Molnár és mstai. 2007; Szakács és Molnár-Láng 2007; 2010; Molnár-Láng és mstai. 2012; Kruppa és mstai. 2012; Kruppa és mstai. 2013). A keresztezésekhez Chiense Spring, Mv9 kr1 és Asakaze komugi (Asakaze) búzafajtákat, valamint Betzes, Igri (2 soros német) és Manasz (6 soros ukrán) árpa fajtákat használtak.

## 3.2 Búza-árpa addíciós vonalak stabilitása

Islam és mstai. (1981) által létrehozott Chinese Spring × Betzes addíciós vonalak kromoszóma stabilitása a 3H (97,5 %) és a 2H (91,6 %) esetében volt a legjobb (1. táblázat). Linc és Lángné Molnár (2003) (Chinese Spring × Betzes) × Asakaze 2H addíciós vonalak stabilitását 88,9 %-osnak találta. Az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalakat vizsgálva Szakács és Molnár-Láng (2010) szintén a 2H és a 3H vonalakat találta a legstabilabbnak. Ezzel szemben a 3H kromoszóma magas szintű instabilitását tapasztalták az Asakaze × Manasz kombinációban (Molnár-Láng és mstai. 2012).

Az Mv9 kr1 × Igri diszómás addíciós vonalak közül csupán a 4H árpa kromoszóma teljes eliminálódását figyelte meg Szakács és Molnár-Láng (2010) és a 4H addíciót közepes

stabilitásúnak (68,4 %) találták. Islam és mstai. (1981) szintén a 4H addíció esetében találta a legkevesebb diszómás vonalat (86 %). Koba és mstai. (1991) az általuk előállított búza-árpa hibridek esetében, illetve Molnár-Láng és mstai. (2005) Asakaze × Manasz addíciós vonalaknál a 4H árpa kromoszóma eltűnését találták a legritkábbnak.

A 7H diszómás és 6HS diteloszómás Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalakat Szakács és mstai. (2010) jó stabilitásúnak találták (96,4 és 90,0 %). Hasonló értékeket kaptak Islam és mstai. (1981) Chinese Spring × Betzes 7H (93,5 %) és 6H (94,6 %) diszómás vonalakon.

**1. táblázat:** Különböző keresztezésből származó búza-árpa hibridek stabilitása.

| Genotípus | Diszómás növények, % | Irodalom |
|---|---|---|
| **Chinese Spring × Betzes** | | |
| 2H addíció | 91,6 | Islam és mtsai. 1981 |
| 3H addíció | 97,5 | |
| 4H addíció | 86 | |
| 5H addíció | 73,3 | |
| 6H addíció | 93,5 | |
| 7H addíció | 94,6 | |
| **Mv9 kr1 × Igri** | | |
| 2H addíció | 100 | Szakács és Molnár-Láng 2010 |
| 3H addíció | 100 | |
| 4H addíció | 68,4 | |
| 6HS addíció | 90 | |
| 7H addíció | 96,4 | |
| **(Chinese Spring × Betzes) × Asakaze** | | |
| 2H addíció | 88,9 | Linc és Lángné Molnár 2003 |
| 6H addíció | 96,1 | |

## 3.3 Búza-árpa addíciós vonalak morfológiai és agronómiai jellemzése

A Chinese Spring × Beztes keresztezésből származó növények utódait vizsgálva Islam és mstai. (1981) az egyes árpa kromoszómák jellegzetes, morfológiát módosító hatását írták le.

A különböző kombinációból származó búza-árpa hibridek morfológiai vizsgálata során az egyes árpa kromoszómák hasonló hatását figyelték meg a kutatók. A Chinese Spring × Beztes, Mv9 kr1 × Igri és Asakaze × Manasz vonalak közül a 4H volt a legjobb fertilitású,

míg a fel nem nyíló portokok következtében a 7H addíció adta a legkevesebb szemszámot (Islam és mstai. 1981; Szakács és Molnár-Láng 2007; 2010; Molnár-Láng és mstai. 2012). Mindhárom kombinációban a 2H kalászai hosszúak, laza szerkezetűek voltak, és a növények magasabbak voltak a búza szülőknél. A 7H mindegyik esetben jobb bokrosodó képességet mutatott. A Chinese Spring × Beztes és Mv9 kr1 × Igri 3H addíciós vonalainak kalásza rövidebb és tömöttebb volt, mint a búza szülők kalászai, míg az Asakaze × Manasz keresztezésből származó 3H kalászai kevésbé voltak tömöttek, mint a másik két kombinációé.

A búza-árpa hibridek egyes tulajdonságai a növénynevelés körülményeitől és az évjárathatástól függően eltérőek voltak. Szakács és Molnár-Láng (2007) Mv9 kr1 × Igri 2H, 3H és 4H addíciós vonalakat szabadföldön vizsgálva a búza szülőnél magasabbnak és jobb bokrosodó képességűnek találta a 2H és 3H vonalakat, azonban a fertilitásukat gyengébbnek, míg a 4H addíció kalászonkénti szemszáma a búza szülőével közel azonos volt. Ugyanebből a kombinációból származó 6HS vonal fitotroni kísérletben alacsonyabb és hasonló bokrosodási képességű volt, mint az Mv9 kr1 búza, míg a 7H magasabb és több kalászt érlelt be (Szakács és Molnár-Láng 2010). Mindkét vonal szemszáma erősen csökkent a búza szülőhöz képest. Szabadföldön Farkas és mstai. (2014) mindegyik addíciós vonalat alacsonyabbnak és a 7H kivételével gyengébb bokrosodó képességűnek találták, mint a búza szülőt. Kísérletükben a 4H vonal kalászonkénti szemszáma volt a legtöbb, de a gyenge bokrosodás miatt a növényenkénti szemszáma a legkevesebb. A legtöbb szemet növényenként a 3H addíció adta. A kalászonkénti szemszám a 7H addíció esetében volt a legkevesebb.

Az Asakaze × Manasz hibridek esetében a 3H és a 6H vonalak alacsonyabbak voltak az Asakaze búzánál, fitotroni kísérletben, míg szabadföldön vizsgálva 4H, 6H és 7H addíciók voltak alacsonyabbak, mint a búza szülő (Molnár-Láng és mstai. 2012). Farkas és mstai. (2014) szabadföldi kísérletben a 3H kivételével mindegyik Asakaze × Manasz keresztezésből származó addíciós vonalat magasabbnak találták a búza szülőnél. A 3H és 7H addíció ebben a kombinációban is jó bokrosodó képességű volt, a legtöbb növényenkénti szemet a 4H vonal adta (Molnár-Láng és mstai. 2012; Farkas és mstai. 2014.). Ezek az eredmények is jól mutatják, hogy az egyes búza-árpa keresztezésből származó vonalak teljesítményét a tenyészedényes kísérleteken kívül szabadföldi vizsgálatokban szükséges értékelni.

Islam és mstai. (1981), valamint Koba és mstai. (1997) által előállított Chiense Spring × Betzes és Shinchunaga × Nyugoruden 5H addíciós vonalak hosszú, laza szerkezetű kalásszal és a búza szülőknél kevesebb szemszámmal rendelkeztek. Mindkét kombinációból származó 5H addíciós vonal esetében korai virágzást tapasztaltak. Murai és mstai. (1997) vizsgálatai szerint az 5H addíciós vonalak érzékenyebbek voltak a fotoperiódusra és vernalizációs

igényük csökkent a búza szülőkhöz képest. Takahashi és Yasuda (1970) szerint az árpa tavaszi jellegét az *Sh1, Sh2* és az *Sh3* gének határozzák meg, amelyek a 4H, 5H és 1H kromoszómák hosszú karján találhatóak (Takahashi és Yasuda 1971).

A kalászolás idejét három tényező határozza meg: a vernalizációs igény, a fotoperiódusra adott válasz és a koraiság (Takahashi és Yasuda 1971). A fotoperiódus érzékenység erősen befolyásolja a vernalizációs igényt (Roberts és mstai. 1988). Fitotronban, hosszú, ill. rövid nappalos megvilágítás mellett és vernalizáció nélkül nevelt Mv9 kr1 ×Igri és Asakaze × Manasz addíciós vonalakat vizsgálva Farkas és mstai. (2014) a 4H vonalat találták a legkésőbbinek, míg a 7H-t a legkorábbinak mindegyik kezelésben. A 7H addíció koraiságáért feltehetően a 7H kromoszóma hosszú karján található a vernalizációs igényt meghatározó *Vrn-H3* gén felelős, amely a virágzást segíti elő (Yan és mstai. 2006; Faure és mstai. 2007). Ezzel szemben a virágzást gátló *Vrn-H2* a 4H kromoszóma hosszú karján található (Laurie és mstai. 1995), ami magyarázhatja ennek az addíciós vonalnak a késői virágzását.

## 3.4 Fajhibridek szerepe a lisztharmat gomba gazdanövénykörének bővülésében

Az lisztharmatfélék (*Erysiphales*) több mint 9000 kétszikű és 650 egyszikű növényt károsítanak. A gabonaféléket fertőző lisztharmat, *Blumeria graminis* (DC.) Speer a termés mennyiségének és minőségének jelentős csökkenését okozza világszerte. A *B. graminis* nyolc külön fajból álló csoport, amelyekre gazdanövény-specializáció (*formae speciales*) jellemző (Marchal 1902; Inuma és mstai. 2007); például a búzát csak a búzalisztharmat (*B. graminis* f. sp. *tritici*), míg az árpát csak az árpalisztharmat (*B. graminis* f. sp. *hordei*) fertőzi. A kórokozónak azt az evolúciós képességét, amellyel képes az eredeti gazdanövényen felül új gazdanövényeket is megfertőzni, gazdanövénykör bővülésnek nevezik (Giraud és mstai. 2010). A gazdanövénykör bővülés elég gyakori jelenség, mivel csupán kis változás elegendő a kórokozó effektor repertoárjában ahhoz, hogy képes legyen megfertőzni a legközelebbi rokon fajokat (Schulze-Lefert és Panstruga 2011; Troch és mstai. 2012). Érdekes módon a gabonaféléket fertőző lisztharmatok gazdanövénykörének bővülésével kevés tanulmány foglalkozik.

A legelterjedtebb intergenetikus hibrid a tritikálé (×*Triticosecale* Wittmack), amely búza és rozs keresztezéséből származik. A tritikálé fontos takarmány és energia növény, amelynek mintegy 80 %-át az EU termeli meg, a legnagyobb mennyiségben Belgium és Németország

(FAOSTAT 2013). A tritikálé eredetileg rezisztens volt a lisztharmattal szemben, azonban 2001-ben, Franciaországban a fogékony fajtákon 20 %-os terméscsökkenést okozott (Walker és mstai. 2011). Ezután Svájcban, Lengyelországban, Belgiumban és Németországban is azonosították tritikálén a lisztharmat tüneteit (Wakulinski és mstai. 2005; Mascher és mstai. 2006; DuCheyron és Masson 2007). Kezdetben úgy gondolták, hogy az újonnan megjelenő tritikálé lisztharmat (*B. gramminis* f. sp. *triticosecale*) a *B. g.* ff. spp. *tritici* és *secalis* (rozs lisztharmat) hibridizációjából jött létre, azonban a filogenetikai vizsgálatok rámutattak, hogy valójában a *B. graminis* f. sp. *tritici*-ből alakult ki (Walker és mstai. 2011; Troch és mstai. 2012). Ezért a tritikálé lisztharmat nem fertőzi a rozsot, azonban egyes izolátumok képesek megbetegíteni a tritikálét és a búzát is, és vannak olyan izolátumok, amelyeket csak tritikálén lehetett kimutatni (Troch és mstai. 2012). A kórokozó populációjának magas diverzitását mutatja, hogy Klocke és mstai. (2013) 3 év alatt 20 fajtáról összesen 694 izolátumot gyűjtöttek be, amelyből 272 különböző patotípust azonosítottak.

Ezen eredmények felhívják a figyelmet lisztharmat gombák gazdanövényeinek hibridizációból eredő gazdanövénykör bővülésének lehetőségére.

## 3.5 A szárazságstressz és az idegenfajú hibridek szerepe a búza szárazságtűrésének javításában

### 3.5.1 A szárazságstressz, adaptációs stratégiák és a szárazságtűrés

A növények életében számos környezeti hatás van, amely befolyásolja növekedésüket és ezáltal a termésmennyiséget. Ezen a hatások szélsőséges kilendüléseire különböző erősségű stresszként tekinthetünk. A stressz a szervezet nem specifikus válasza bármilyen, a stresszt előidéző tényezőkre, az ún. stresszorokra (Selye 1936; Selye 1976). A stresszállapot a növény szervezetével szemben fokozott igénybevételt jelent (Larcher 1987), amelynek következtében a növény növekedése és termése a genomban meghatározott potenciális érték alá csökken (Osmond és mtsai. 1987).

A szárazság világszerte az egyik legfontosabb terméscsökkentő abiotikus stresszfaktor (Araus és mtsai. 2002). Szárazságstressz akkor alakul ki, ha a növény vízigénye nagyobb, mint a környezet vízszolgáltató képessége (Blum 1988). A vízhiány kialakulásának alapvetően két oka lehet (Hoffmann és mtsai. 2006; Tuberosa 2012). Az egyik, hogy rövidebb, vagy hosszabb ideig az átlagosnál kevesebb csapadék hullik, amelynek következtében a növény

számára nem áll rendelkezésre elegendő víz. A másik, hogy a növény nem képes annyi vizet felvenni, amennyit elpárologtat, így a belső vízegyensúlya megbomlik.

A vízhiány káros hatásainak kivédésére a növények különböző stratégiákat alkalmaznak (Levitt 1980). A **menekülési stratégiát** alkalmazó növények nem tekinthetőek igazi szárazságtűrőnek, mert elsősorban életciklusuk rövidítésével és gyors reproduktív fázisukkal igyekeznek minimálisra csökkenteni a szárazság negatív hatását (ilyenek pl. korán beérő fajták). A **dehidratációt elkerülő** növények képesek a további vízvesztés megakadályozni, illetve a vízfelvétel fokozni. Ez a stratégia enyhébb szárazság esetén nyújthat megfelelő védelmet (Kramer és Boyer 1995). A vízvesztés megakadályozásában fontos szerepe lehet különböző morfológiai bélyegeknek is, mint a levelek mérete, viaszoltsága, szőrözöttsége és állása, vagy a gázcserenyílások száma, helyzete. A víztartalékolást szolgálja pl. a sztómák zárása is, míg gyökérzet fejlesztése a vízfelvétel fokozására irányul. A **szárazság tolerancia** a vízleadás és felvétel közötti egyensúly, valamint a növényi funkciók épségét biztosító biokémiai folyamatokon alapul. Ilyenek az ozmoreguláció, a makromolekulák integritásának védelmét biztosító fehérjék, vagy egyéb vízoldható vegyületek, és a reaktív oxigénszármazékokat (ROS) semlegesítő molekulák fokozott szintézise is.

Verslues és mtsai. (2006) rámutattak, hogy egy adott növény vízhiányra beinduló védekezési folyamatai nem illeszthetőek be kizárólagosan egyik vagy másik adaptációs stratégiába. Blum (2006) szerint a gabonafélék adaptációs stratégiája háromféle lehet: (a) a mélyebb talajrétegekben elhelyezkedő víz elérése; (b) a víz megőrzése, ill. vízfelhasználás csökkentése; (c) a szemfeltöltődés ideje alatt a korábban felhalmozott asszimilátumok nagyobb mértékű remobilizációja.

A **szárazságtűrés** a növény azon képessége, amellyel a vízhiány át tudja vészelni (Levitt 1972). Klimatikus adottságainknak köszönhetően hazánkban nem jellemzőek a szélsőségesen hosszantartó száraz periódusok, ezért olyan genotípusokat tekintünk szárazságtűrőnek, amelyek száraz viszonyok között is gazdaságos termést képesek produkálni (Cseuz 2009). A szárazságtűrésre való nemesítést megnehezíti rendkívül összetett jellege (Passioura 1996), és az a tény, hogy olyan tulajdonságokkal hozható kapcsolatba, amelyek normál vízellátású körülmények között terméscsökkentő tényezők lehetnek (Blum 2005; Hoffmann és mtsai. 2006). Bár a termőképesség és a szárazságtűrés között negatív kapcsolat áll fenn (Blum 2005), normál körülmények között, nagy terméssel rendelkező genotípusok kiválasztása indirekt módon javítja a termés mennyiségét enyhe, ill. közepes erősségű szárazság esetén (Araus és mtsai. 2002; Cattivelli és mtsai. 2008).

### 3.5.2 A vízhiány hatása a növekedésre

A vízhiány érzékelését követően igen rövid időn belül megáll a **hajtás** növekedése (Chazen és Neumann 1994; Neumann 1999). A növekedés gátlása meghosszabbítja azt az időt a növény számára, amíg a rendelkezésre álló készletek elégségesek lehetnek a száraz periódus átvészeléséhez, illetve a termés beérleléséhez (Lu és Neumann 1998). Azonban a mérsékelt, vagy rövidebb ideig tartó vízhiány hatására bekövetkező növekedés gátlás, a csökkent $CO_2$-asszimiláció eredményeképpen negatív hatással van a termésre, ami gazdasági növényeinknél nem kívánt tulajdonság (Hoffmann és mtsai. 2006).

A gyökérnövekedés és a **gyökérzet** mérete az egyik legnehezebben tanulmányozható tulajdonság, azonban a szárazsághoz való alkalmazkodás szempontjából meghatározó szerepe van. A száradó talajjal való közvetlen kapcsolata miatt a gyökér érzékeli először a vízhiányt, és közvetíti a hajtáshoz küldött stressz jellel (Davies és Zhang 1991). Ehdaie és mtsai. (2012) szerint a szárazság mindig csökkenti hajtástömeget, azonban a gyökérzetre gyakorolt hatás változó, lehet pozitív (gyökérnövekedést fokozó), semleges vagy negatív (gyökértömeget csökkentő) is.

A gyökérzet fokozott növekedése a vízhiányhoz történő adaptációt szolgálja. Az erőteljesebb, mélyebb gyökérzetet fejlesztő genotípusok stressz körülmények között előnyben vannak, mert a mélyebb gyökérzet által a még nedves talajrétegben lévő víz is elérhetővé válhat a növény számára (Hofer 1991; Gowda és mtsai. 2011). A gyökér fokozott növekedése és a termés közötti kapcsolat szorosságáról eltérő eredmények születtek (Lilley és Fukai 1994; Ingram és mtsai. 1994; Chloupek és mtsai. 2010), ami a két tulajdonság kapcsolatának komplex jellegére utal.

A növény azon képessége, amellyel a gyökér növekedése és/ vagy fiziológiai aktivitása a mélyebb, nedves talajrétegek felé fokozódik, **gyökérplaszticitásnak** nevezzük (O'Toole és Bland 1987; Kato és mtsai. 2006). A szárazsághoz való adaptációban fontos szerepe van a gyökérplaszticitásnak, mivel a szárazságtűrő növények nagyobb mértékben képesek a gyökérnövekedés „áthelyezésére" a nedvesebb talajréteg felé (Ingram és mtsai. 1994; Hoffmann és mtsai. 2006). A plaszticitás mértéke függ a genotípustól, az évjárattól, valamint a szárazság intenzitásától és megjelenésének idejétől (Ehdaie és mtsai. 2001; Kano és mtsai. 2011).

Az akklimatizációs folyamat részeként a **hajtás/gyökér arány** eltolódik, amely a vízleadáshoz képest a vízfelvétel relatív növelését eredményezheti (Serraj és Sinclair 2002). Tenyészedényes kísérletekben búza fajták gyökértömeg és a gyökér/hajtás arányának

alakulását vizsgálva Hoffmann és mtsai. (2006) korai vízhiányra a gyökértömeg csökkenését tapasztalta, míg a későbbi fenofázisban megkezdett vízmegvonás hatására nemcsak a gyökérhajtás arány, hanem a gyökér abszolút tömege is növekedett a kontrollhoz képest. Szárbaszökés elején megkezdett vízmegvonás hatására 1RS és 2RL búza-rozs transzlokációs vonalak bizonyos kombinációinak gyökértömege (elsősorban a felszíni) növekedett (Ehdaie és Waines 2003; Ehdaie és mtsai. 2012). Darko és mtsai. (2012) többféle kombinációból származó búza-árpa introgressziós vonalakat vizsgálva, azt tapasztalta, hogy a gyökérzet növekedési erélyét meghatározta a keresztezésben felhasznált búza szülőpartner, de minden esetben a 4H árpa kromoszóma jelenlétekor hosszabb és nagyobb tömegű gyökér fejlődött. A 4H kromoszóma gyökérnövekedésre gyakorolt pozitív hatását 4H(4D) búza-árpa szubsztitúciós vonal esetében Hoffmann és mtsai. (2011) is leírta.

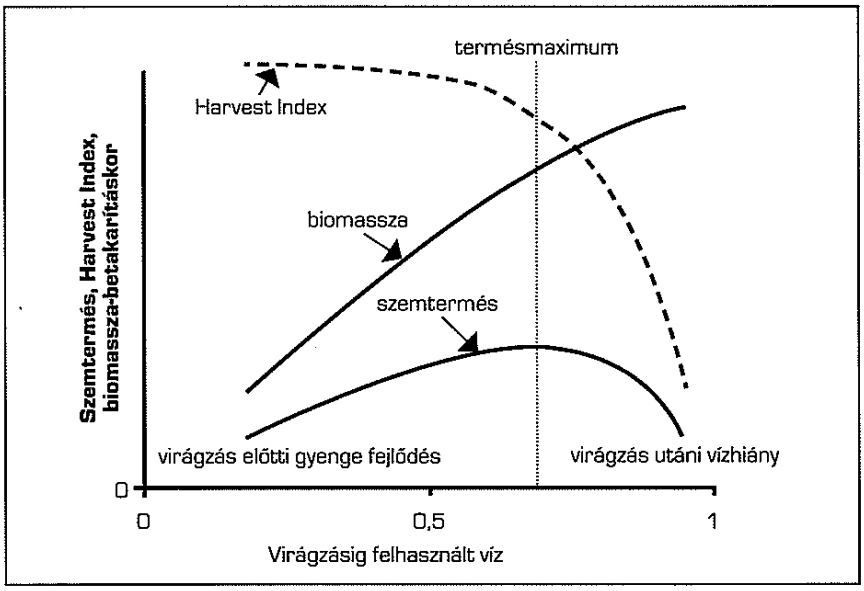
### 3.5.3 Vízhiány hatása a termésre

A termés mennyisége komplex agronómiai tulajdonság, amely a szárazságtűrés legfontosabb mutatója a vízhiány hatására bekövetkező terméscsökkenés mértéke (Hoffmann és mtsai. 2006). A termés mennyiségét három komponens határozza meg: a kalászszám, a kalászonkénti szemszám, és az ezerszemtömeg (ESZT). Attól függően, hogy a szárazság milyen fenológiai fázisban jelentkezik, eltérő terméskomponensekre van hatással, azonban minden esetben csökken a termés, még akkor is, ha a vegetatív fejlődés megfelelő volt (Hoffmann és mtsai. 2006; Szira és mtsai. 2008; Passioura 2012). A korai vízhiány (különösen a kalászolás és a virágzás közötti rövid időszakban) következtében kevesebb szem fejlődik, míg a virágzáskor, ill. a szemtelítődés során jelentkező szárazság a szemtömeget csökkenti (Dancic és mtsai. 2000; Hoffmann és mtsai. 2006; Ji és mtsai. 2010; Vaezi és mtsai. 2010; Khan és Naqvi 2011). Annak ellenére, hogy a kalászolás előtti szárazság hatására nő az ESZT, nagymértékű, akár 40-70 %-os terméskiesés is jelentkezhet, amelynek legfőbb oka a steril pollenszemek kialakulásából adódó szemszám csökkenés (Saini és Westgate 1999; Barnabás és Fehér 2006; Hoffmann és mtsai. 2006; Rajala és mtsai. 2011).

A szemtelítődés idején fellépő vízhiány esetén a csökkenő fotoszintetikus tevékenység és a korai levélöregedés következtében, megnő a jelentősége a tápanyagok transzlokációjának a szembe, amelynek mértéke genotípusonként eltérő lehet (Cseuz és Pauk 2004; Yang és Zhang 2006). Árpán végzett kísérletek szerint normál vízellátás során az asszimilátumok transzlokációja 17 %, míg vízhiány esetén ez az arány 50 %-ra is nőhet (Austin és mtsai. 1980).

Megfelelő vízellátás mellett a virágzás idejére kialakult biomassza tömege arányos a termés mennyiségével (Vaezi és mtsai. 2010; Passioura 2012), és a nagy terméspotenciállal rendelkező genotípusoknak magasabb a harvest indexe (Siddique és mtsai. 1989). Vízhiányos környezetben a harvest index csökkenésének mértéke kritikus tényezője a kielégítő termésnek (2. ábra, Passioura 2004; Mori és Inagaki 2012).

Árpa szárazságtűrését vizsgálva több kutató is a termést befolyásoló QTL-ket mutatott ki ozmotikus-, valamint szárazságstressz során a 2H, 4H, 5H és 6H kromoszómákon, amelyek közül a 2H és a 4H a kalászonkénti szemszámot is befolyásolja (Teulat és mtsai. 2001; Ellis és mtsai. 2002; Szira 2010). A 2H, 4H és a 7H kromoszómán ezereszemtömeget befolyásoló QTL-ket is azonosítottak (Teulat és mtsai. 2001; Bálint és mtsai. 2009), valamint Xue és mtsai. (2009) kontroll körülmények és sóstressz alatt a 3H és 4H kromoszóma növényenkénti kalászszámra gyakorolt hatását írta le. Hoffmann és mtsai. (2009) búza-árpa introgressziós vonalak vizsgálata során, azt tapasztalta, hogy a 4H kromoszóma jelenléte javította a termés stabilitását vízhiányos körülmények között.




**2. ábra:** A szemtermés, a harvest index és a biomassza alakulásának összefüggése a rendelkezésre álló víz mennyiségével (az Y-tengely skálája tetszőleges, forrás: Hoffmann és mtsai. 2006).

### 3.5.4 A növény vízállapota és a vízhasznosító képesség szerepe a stressz adaptációban

A szárazságstressz alatti vízháztartás jellemző paraméterei a **relatív víztartalom** (RWC) és a víz energiaállapotát kifejező vízpotenciál (Turner 1981). Az RWC azt mutatja meg, hogy a vizsgált levélben a vízzel telítetthez képest, milyen a tényleges víztartalom. A vízhiányos levelek RWC értéke csökken a kontrollhoz képest, azonban a mértéke genotípusonként eltérő (Morgan és Condon 1986). Azoknál a fajtáknál, amelyek termése kevésbé csökken a szárazság hatására, az RWC csökkenése az aktív ozmoregulció eredménye, így az alacsonyabb víztartalmú levelek nagyobb szívóerőt fejtenek ki, és elősegítik a talajban erősebben kötött víz felvételét (Hoffmann és mtsai. 2006).

Több kísérlet eredménye szerint a 4H árpa kromoszómának meghatározó szerepe van a vízháztartás szabályozásában ozmotikus és szárazság stressz alatt (Molnár és mtsai. 2007; Farshadfar és mtsai. 2008a; Farshadfar és mtsai. 2008b; Hoffmann és mtsai. 2009; Dulai és mtsai. 2011). A 4H kromoszóma mellett a 6H és a 7H kromoszómán is azonosítottak RWC-vel és ozmotikus adaptációval összefüggő jellegeket (Teulat és mtsai. 1997; Teulat és mtsai. 2003; Diab és mtsai. 2004).

A termésképződés szempontjából kritikus tulajdonság a növény **vízhasznosító képessége** (WUE, Passioura 1977), amely az összes szerves anyag, vagy a termés és a vegetáció során felhasznált összes víz hányadosával fejezhető ki. A vízhasznosulás mértéke kedvező vízellátottságú években nagyobb, mint a kedvezőtlen évjáratokban (Szász 1998). A vízhiány hatására változik a WUE mértéke (Varga és mtsai. 2013), azonban a változás iránya és mértéke az adaptációs típustól és tenyészidőtől függ. Rövid tenyészidejű genotípusok a vízhiány hatására mérséklik a vízfelhasználásukat, míg a hosszú tenyészidejűek általában mélyebb gyökérzetettel rendelkeznek és magasabb vízfelhasználásúak (Mitchell és mtsai. 1996). Varga és mtsai. (2014) eredményei szerint, a rövid vegetációs idejű fajták szárbainduláskor alkalmazott 7-10 napos teljes vízmegvonásra, míg a hosszú tenyészidejű fajták kalászoláskor, ill. szemfeltöltődés időszaka folyamán bekövetkező időszakos vízhiányra a legérzékenyebbek, és minden esetben a WUE mértéke csökkent. Ezzel szemben, Hoffmann és mtsai. (2006) azt tapasztalta, hogy a szárbaszökéskor megkezdett, csökkentett vízellátás hatására a stresszkezelt növények WUE érétke genotípusonként eltérő mértékben növekedett.

Araus és mtsai. (2008) szerint a vízmegőrző genotípusok magasabb WUE értékkel rendelkeznek, azonban gyakran az alacsonyabb vízállapot következtében, a magas

vízhasznosító képességgel rendelkező genotípusokat alacsonyabb sztómakonduktencia (Araus és mtsai. 2008; Tuberosa 2012), és ezáltal alacsonyabb evapotranspiráció (Zhang és mtsai. 2008) jellemzi. A vízhiány hatására alacsonyabb WUE-t mutató genotípusok bár vízpazarlóak lehetnek, több vizet képesek felvenni a talajból, így a magasabb sztómakonduktancia és transpiráció fenntartásával nagyobb termést hoznak (Blum 2006; 2009; Tuberosa 2012).
Számos tanulmány szerint a WUE és a harvest index (HI) között szoros kapcsolat figyelhető meg (pl. Passioura 1996; Reynolds és Tuberosa 2008; Varga és mtsai. 2013; Varga és mtsai. 2014).
A búza és az árpa közül az árpa WUE értéke magasabb (Cattivelli és mtsai. 2002; Varga és mtsai. 2013). Búza árpa addíciós vonalakat vizsgálva a 4H árpa kromoszómán azonosították a WUE genetikai szabályozásáért felelős gént (Handley és mtsai. 1994; Cattivelli és mtsai. 2002). Martin és Ruiz-Torres (1992) 4H(4D) szubsztitúciós vonalat vizsgálva azt tapasztalta, hogy enyhe szárazság esetén nőtt a stresszkezelt növények vízhasznosító képessége.

### 3.5.5. Vízhiány hatása a fotoszintézisre

Már mérsékelt vízhiány esetén a fotoszintézis, így a szerves anyag felhalmozódás gátolódik, amely elsősorban a sztómák záródásának eredménye (pl. Cornic 2000; Chaves és mtsai. 2002; Chaves és mtsai. 2003; Centritto és mtsai. 2003). Csíranövénykorban, vagy a levélzet kifejlődésekor bekövetkező szárazság a levélfelület csökkenésével, míg későbbi fejlődési stádiumban a levelek idő előtt bekövetkező szeneszenciájával a vízhiány direkt hatással van a fotoszintézisre és ezáltal a termésre (Araus és mtsai. 2008; Guóth és mtsai. 2009). Aszályos körülmények között a lehető legnagyobb termés elérése érdekében fontos, hogy a növény fotoszintetikus tevékenysége aktív maradjon és ne csupán a szárazság túlélésére adaptálódjon (Hoffmann és mtsai. 2006).
Wójcik-Jagła és mtsai. (2013) tavaszi árpa vonalakat vizsgálva a 2H, 4H és az 5H kromoszómákon a fotoszintézist befolyásoló QTL-eket azonosított. Dulai és mtsai. (2010, 2011) Asakaze komogi × Manasz búza-árpa addíciós vonalakat vizsgálva azt tapasztalta, hogy a 7H kromoszóma hatására a sztómakonduktencia kevésbé csökkent és a $CO_2$-asszimiláció kielégítő maradt sóstressz alatt.

### 3.5.6. Szárazságtűrő búza genotípusok szelekciója stressztolerancia indexek segítségével

Azok a genotípusok, amelyek szárazságstressz esetén a kontrollhoz hasonló termést adnak, szárazságtűrőek (Hall 1993). Ezért a szárazságtűrésre való szelektálás legjobb módszerének Fernandez (1992) a vízhiányos körülmények között is, a kontrollhoz hasonló termést adó genotípusok kiválasztását tartja. Ehhez adnak segítséget a különböző környezeti feltételek között hozott termésmennyiségek összevetésén alapuló stressztolerancia indikátorok (Mitra 2001), amelyeket szárazságtűrő búza (Clarke és mtsai. 1992) és durumbúza (Golabadi és mtsai. 2006; Talebi 2009; Mohammadi és mtsai. 2011) genotípusok azonosítására több kísérletben is használták. Farshadfar és mtsai. (2013) búza-rozs addíciós vonalak szárazságtűrésének vizsgálatánál alkalmazta az stressztolerancia indikátorokat, annak kiderítésére, melyik kromoszómán helyezkednek el a szárazságtűrést befolyásoló gének.

Különböző erősségű szárazságstressz esetén fontos tulajdonság a genotípusok termés stabilitása (Rashid és mtsai. 2003), amelynek mérésére Fischer és Maurer (1978) a **stressz érzékenységi indexet** (SSI) javasolja. Az SSI a potenciális és a tényleges termés különbségét mutatja meg különféle környezeti hatások tükrében. Azok a genotípusok, amelyek SSI-értéke kisebb, mint 1, a szárazságra érzékenynek tekinthetők (Guttieri és mtsai. 2001).

Rosielle és Hamblin (1981) a termés stabilitását a kedvező és kedvezőtlen környezeti feltételek közötti termésmennyiség különbségét megadó **stressz toleranciával** (TOL) mutatta ki. Eszerint azok a genotípusok termése tekinthető stabilnak, amelyek TOL-értéke alacsonyabb, mert azok termése kevésbé csökken a stressz hatására. A **harmonikus átlag** (HM) és **átlagos termés mennyiség** (MP) a vizsgált genotípus normál és vízhiányos termés mennyiségének átlagát mutatja meg (Rosielle és Hamblin 1981). Szárazságtűrés szempontjából a magasabb HM és MP-érték a kívánatos.

A termés stabilitásának becslésére használható a **termés index** (YI, Gavuzzi és mtsai. 1997) és a **termés stabilitás index** (YSI, Bouslama és Schapaugh 1984). A magas YSI-érték stabil termést mutat, míg a YI a vizsgált genotípusok közül a legmagasabb terméssel rendelkezőt mutatja meg mind normál vízellátás, mind vízhiány mellett.

Azoknak a genotípusoknak az azonosítására, amelyek szárazságstressz esetén is magas termést produkálnak Fernandez (1992) a **stressz tolerancia indexet** (STI) használta és azokat a genotípusokat tekintette toleránsnak, amelyeknek az STI-értéke magasabb.

A stressztolerancia indikátorok lehetőséget adnak szárazságstressztűrő genotípusok megkülönböztetésére és kiválasztására. Az MP, HM GMP és STI indikátorok a vízhiányos

körülmények között elfogadható, míg a normál körülmények között magas termést hozó genotípusok azonosítására alkalmasak (Golabadi és mtsai. 2006; Sio-SeMardech és mtsai. 2006; Farshadfar és mtsai. 2013). Ezzel szemben erős stresszhatás esetén is a termésmennyiségüket kevésbé csökkentő genotípusok kiválasztására a TOL, YSI és SSI indikátorok használhatóak (Talebi 2009; Farshadfar és mtsai. 2013). Azonban csak a TOL indikátoron alapuló szelekció a kontroll termés csökkenéséhez vezethet a szárazságra kevésbé csökkenő, de kis terméspotenciálú genotípusok kiválasztásával (Clarke és mtsai. 1992; Sio-SeMardech és mtsai. 2006; Talebi 2009). Mindezeken felül a genotípusok stressztolerancia indikátorok értékén alapuló rangsora évről-évre változhat az évjárathatás következtében (Clarke és mtsai. 1992; Mohammadi és mtsai. 2011; Farshadfar és mtsai. 2013).

# 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

## 4.1 A vizsgált növényi anyag

Az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztályán Dr. Lángné Dr. Molnár Márta tudományos osztályvezető irányításával létrehozott *Triticum aestivum* L. × *Hordeum vulgare* L. diszómás és diteloszómás addíciós, ill. szubsztitúciós és transzlokációs vonalakat, valamint a szülőpartnereket vizsgáltuk (2. táblázat).

**2. táblázat:** A vizsgált növényi anyag: búza-árpa introgressziós vonalakat, valamint Mv9 kr1 őszi búza, Igri őszi árpa, Chinese Spring tavaszi búza és Betzes tavaszi árpa, a szülőpartnerek.

| Faj | Fajta / vonal | Hibrid kombináció | Irodalom |
|---|---|---|---|
| Búza | Mv9 kr1 (őszi) | Chinese Spring × Martonvásári 9 | Molnár-Láng és mtsai. 1996b |
| | Chinese Spring (tavaszi) | - | - |
| Búza-árpa hibridek | 2H addíció | Mv9 kr1 × Igri | Molnár-Láng és mtsai. 2000a; Szakács és Molnár-Láng 2007 |
| | 3H addíció | Mv9 kr1 × Igri | |
| | 4H addíció | Mv9 kr1 × Igri | |
| | 6H addíció | (Chinese Spring × Betzes) × Mv9kr1 | Molnár-Láng és mtsai. 2000a |
| | 6HS addíció | Mv9 kr1 × Igri | Molnár-Láng és mtsai. 2000a; Szakács és Molnár-Láng 2010 |
| | 7H addíció | Mv9 kr1 × Igri | |
| | 4H (4D) szubsztitúció | (Chinese Spring × Betzes) × Mv9kr1 | Molnár és mtsai. 2007 |
| | 3BL.3HS transzlokáció | (Chinese Spring × Betzes) × Mv9kr1 | Molnár-Láng és mtsai. 2000b |
| | 6B-4H transzlokáció | (Chinese Spring × Betzes) × Mv9kr1 | |
| | 7D-5HS transzlokáció | Mv9 kr1 × Igri | |
| Árpa | Igri (őszi) | - | - |
| | Betzes (tavaszi) | - | - |

## 4.2 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotípusos tulajdonságainak vizsgálata

### 4.2.1 Csírázási kísérletek

A búza-árpa introgressziós vonalakat és a szülő fajtákat két réteg szűrőpapíron, 15 cm átmérőjű petri-csészében csíráztattuk. Egy petri-csészében egy genotípus 10 szemét helyeztük el. A kísérletet kontrollált körülmények között, inkubátor szekrényben 20 °C-on, megvilágítás

nélkül végeztük. A vonalakat és a szülő fajtákat négy független ismétlésben teszteltük. A kísérlet 2., 4., 6., 8., és 10. napján meghatároztuk a csírázott szemek számát és mértük a rügyecske és a gyököcske hosszát, a gyökerek számát, valamint az utolsó mérési időpontban a hajtás és gyökér friss- és száraztömegét.

### 4.2.2 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása tenyészedényes kísérletekben

Az Mv9kr1 × Igri keresztezéséből származó addíciós vonalak (2H, 3H, 4H, 6HS, 7H) és a szülőpartnerek fenotipusos tulajdonságainak vizsgálatát két évben (2011 és 2012) az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet üvegházában végeztük, Martonvásáron. Hasonló méretű szemeket két réteg szűrőpapíron 15 cm átmérőjű petri-csészében csíráztattuk. Egy petri-csészében egy genotípus 10 szemét helyeztük el. A csíranövények gyökereiből mintát vettünk a citológiai vizsgálatokhoz (lásd. 4.5.1 fejezet). Hat hét jarovizáció után 1,5 l-es kerti föld és homok keveréket (2:1) tartalmazó tenyészedényekbe 1-1 db növényt, genotípusonként összesen 10 növényt ültettünk. Felvételeztük a növények fejlődési ütemét, a produktív bokrosodást, a növénymagasságot, a kalászok hosszát és a terméselemek alakulását. A fenofázisok meghatározásához (Zadoks és mtsai. 1974) skáláját használtuk (9.1 melléklet).

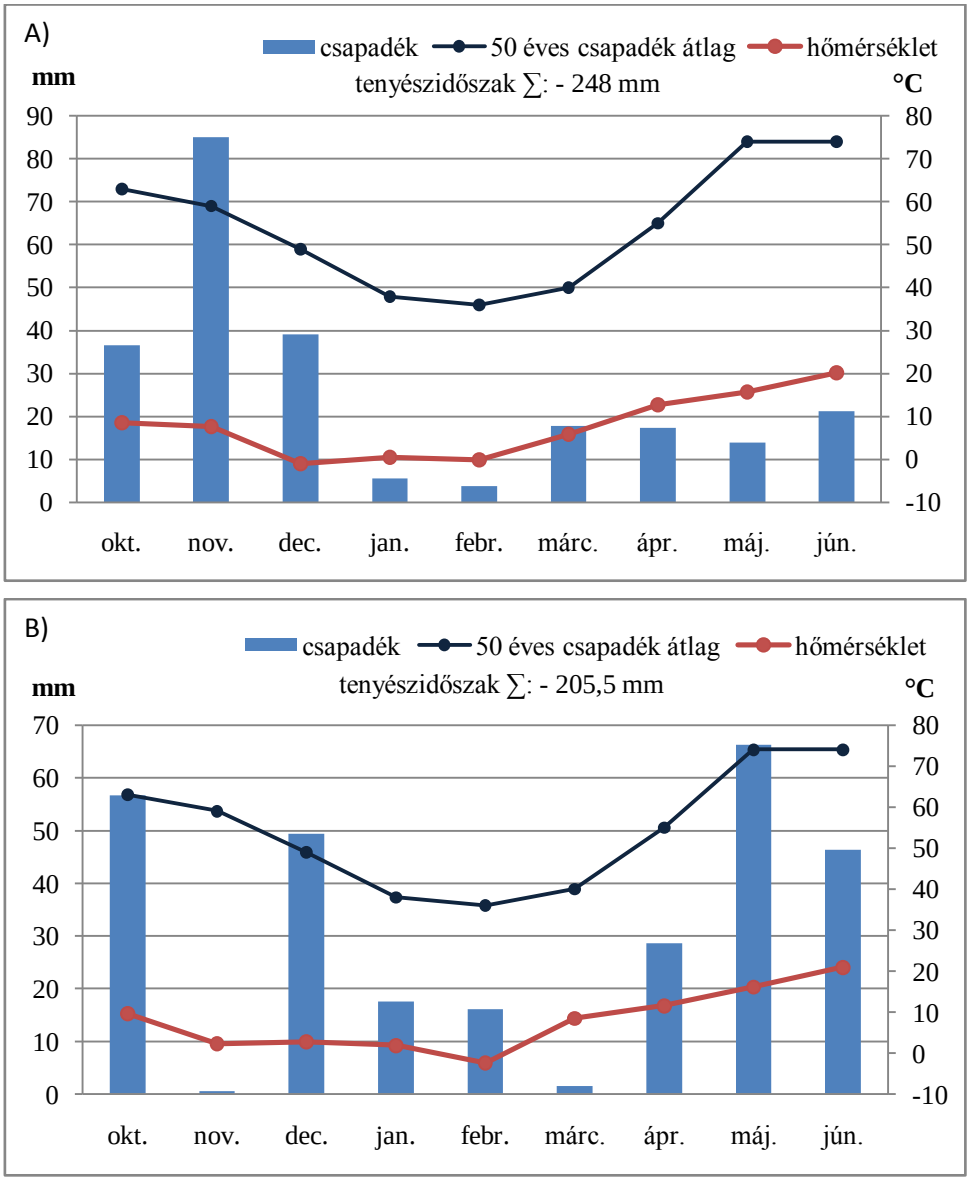
### 4.2.3 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása szabadföldi kísérletekben

Szabadföldi vizsgálatainkat az 2. táblázatban szereplő búza-árpa introgressziós vonalakkal és a szülőpartnerekkel végeztük 2010/11 és 2011/12 vegetációs periódusban a Pannon Egyetem Georgikon Kar Bemutató Kertjében, Keszthelyen.

Az egyes vonalak szemeit tág térállásba (sortáv: 25 cm, tőtáv: 2 cm), kézzel vetettük 2010 okt. 23.-án, illetve 2011. okt. 19.-én. A betakarítást, növényenként a parcella középső 1 m-ről végeztük. Felvételeztük a növények fejlődési ütemét, a produktív bokrosodást, a növénymagasságot, a kalászok alakját, hosszát, a szemek alakját, nagyságát és a terméselemek alakulását, valamint mértük a zászlóslevelek levél felületét. Az adatok kiértékelésekor 2011-ben genotípusonként 10 db, 2012-ben genotípusonként 30 db átlagosnak tekinthető növény vizsgálati eredményeit dolgoztuk fel.

Mindkét vizsgálati évben a csapadék eloszlása rendkívül változékony volt, és mennyiségében is elmaradt az 50 éves átlagtól (az első évben: 248 mm-el, a második évben 205 mm-el; 3. ábra). A téli és tavaszi csapadékhiány miatt május elején, valamint a virágzás folyamán a

megtermékenyülés biztonsága érdekében 10-10 mm csapadéknak megfelelő mennyiségű vizet jutattunk ki az állományra, mindkét évben.




**3. ábra:** A csapadék és a havi középhőmérséklet alakulása a vizsgálat vegetációs ideje alatt, 2010/11 (A) és 2011/12-ben (B), Keszthelyen.

A 2010/11-es vizsgálati év csapadékszegény időjárása hatással volt a növények fejlődésére, különösen a tavaszi vetésű szülőpartnerekre. Ennek következtében a Chinese Spring búza és Betzes árpa gyengén bokrosodott és a termése is alacsony volt. Ezért a 2011/12-es vegetációs időszakban a MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet gyakorlatát követve ősszel vetettük el ezeket a fajtákat is. A második vegetációs ciklus enyhe téli időjárás következtében a növények jobban bokrosodtak, a májusi csapadék hatására pedig a magas Chinese Spring búza állománya olyan mértékben megdőlt, ami lehetetlenné tette a betakarítást.

## 4.3 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata

### 4.3.1 Búza-árpa addíciós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata tenyészedényes kísérletben, Martonvásáron

Az Mv9 kr1 × Igri keresztezéséből származó addíciós vonalak (2H, 3H, 4H, 6HS, 7H) és a szülőpartnerek fenotipizálásával egy időben (lásd. 4.2.2 fejezet) a hibridek szárazságtűrésének vizsgálatát is elvégeztük az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet üvegházában, Martonvásáron, 2012-ben. Genotípusonként és kezelésenként 10-10 db növényt neveltünk. A földkeverék szántóföldi és maximális vízkapacitását a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszékén mérettük be. A növényeket a tárolóedény, a betöltött föld és a növény tömegével korrigálva súlyra öntöztük hetente két alkalommal. A differenciált vízellátást szárbaszökés elején kezdtük meg. A kísérlet során a betöltött föld és a növény tömegével korrigálva súlyra öntöztünk.
Felvételeztük a növények fejlődési ütemét, a produktív bokrosodást, a növénymagasságot és a terméselemek alakulását, valamint a hajtás-, és a gyökerek tömegének változását a vízmegvonást követő 3., 6. és 12. héten.

### 4.3.2 A 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL búza-árpa vonalak gyökérzetének és szárazságtűrésének vizsgálata „homokcsöves” kísérletben, Keszthelyen

A szárazságtűrés vizsgálatához korábbi tenyészedényes és szabadföldi vizsgálataink eredményei alapján kiválasztott búza-árpa keresztezésből származó vonalak közül 3 genotípussal – 4H addíció, 4H(4D) szubsztitució, 3HS.3BL transzlokáció – és a búzaszülőfajtával (Mv9 kr1) dolgoztunk. A búza-árpa introgressziós vonalakat abban a tekintetben vizsgáltuk, hogy az egyes árpa eredetű kromoszómák hogyan befolyásolják a gyökér növekedését, biomassza produkcióját normál és vízhiányos körülmények között.
A vizsgálathoz Ehdaie és mtsai. (2012) által kidolgozott módszert adaptáltuk és fejlesztettük tovább. A növényeket érésig neveltük, genotípusonként és kezelésenként 4-4 ismétlésben.
Csíráztatás előtt a szemek felületét fertőtlenítettük. A hasonló nagyságú szemeket 30 percig Ultrasoil-os, folyóvízben mostuk, majd 70 %-os alkohollal lefújtuk és folyóvízben újra átmostuk. Ezután a szemeket 10 percig 2,5 %-os Hypo-Tween oldatban áztattuk, majd

ioncserélt vízben 3-szor átmostuk. A fertőtlenített szemeket petri-csészében csíráztattuk 2013. január 22.-én. Kiültetéskor a csíranövények három naposak voltak.

A növények tenyészedényeként merev falú, 75 cm hosszú, 11 cm átmérőjű PVC cső szolgált, amelybe alul kilyukasztott, 10 cm átmérőjű és 80 cm hosszú polietilén zacskót helyeztünk (4. ábra). A zacskók aljába filter papírt helyeztünk és 9,5 kg, 600µm szemcseméretű kvarchomokot töltöttünk ültető közegként.

**4. ábra:** A kísérletben használt speciális tenyészedények.

A homok szántóföldi és maximális vízkapacitását a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszékén mérettük be. A növények kiültetése előtt az ültető közeget a szántóföldi vízkapacitás 60 %-ig benedvesítettük. A tápanyagot az öntözővízbe kevert 50 %-os erősségű Hoagland-tápoldattal (Hoagland és Syder 1933) pótoltuk. A stresszkezelést (differenciált vízutánpótlást) szárbainduláskor kezdtük meg. A stressz kezelt növények fele annyi mennyiségű, de ugyannyi tápanyagot tartalmazó tápoldatot kaptak, mint a kontroll növények, de nagyobb ozmotikus nyomással. Ezzel a módszerrel biztosítottuk, hogy a vízhiányos növények számára is annyi tápanyag álljon rendelkezésre, mint a kontroll növényeknek. Az öntöző oldat mennyiségét a kontroll növények igényeinek megfelelően határoztuk meg. Az azonos kezelési csoportba tartozó növények egy öntözéskor azonos mennyiségű tápoldatot kaptak, így a természetes csapadékellátottsághoz hasonló körülményeket teremtettünk.

Felvételeztük az egyes fenológiai fázisok megjelenésének időpontjait, a hajtás és a gyökér száraztömegét, a kalászok számát, a növénymagasságot, a kalászhossz, a

kalászkaszám/kalász, a szemszám/kalász, a szemtömeg/kalász, a klorofill tartalmat és a zászlóslevél felületének alakulását.

A klorofill tartalom mérését a vízmegvonást követő 4., 6. és 8. héten végeztük a zászlósleveleken. A méréshez SPAD-502 klorofill mérőt (Minolta Camera Co. Ltd) használtunk, amellyel a mért levelekről, azok roncsolása nélkül kaphatunk információt. A méréseket a zászlóslevelek középső részén, a főér kerülésével végeztük, 10 ismétlésben levelenként.

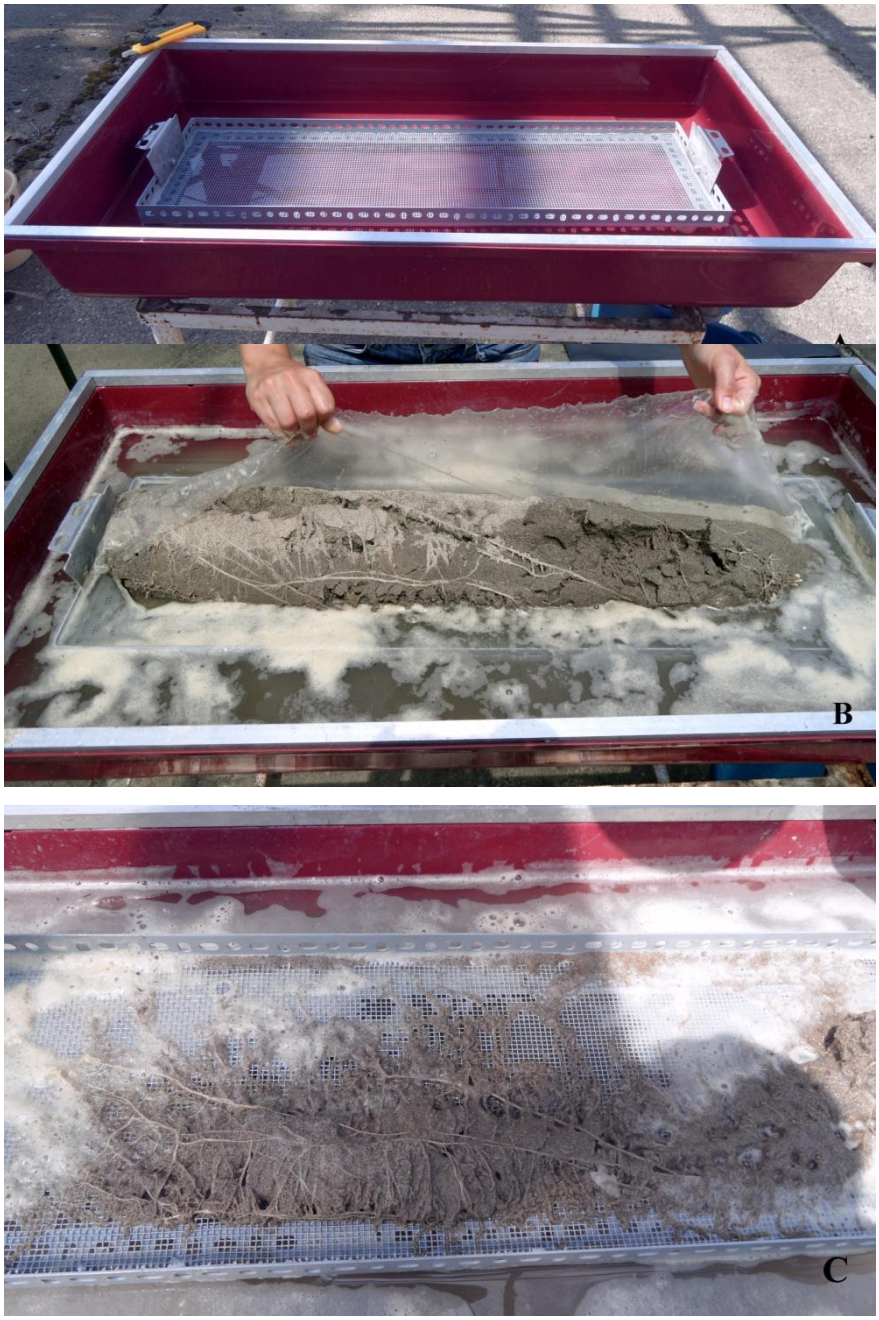
A zászlóslevelek felületének mérését a levelek kiterülését követően végeztük AM 300 (ADC BioScientific) levélszkenner és mérő készülékkel.

A gyökereket teljes éréskor, az aratással egy időben mostuk ki a homok közegből, egy erre a célra készített eszköz segítségével (5. ábra/A). A polietilén zacskót a gyökerek sérülése nélkül ki tudtuk húzni PVC csőből, majd egy sűrű rácsra fektettük. A zacskót egy szike segítségével hosszában felvágtuk és eltávolítottuk (5. ábra/B). Finoman mozgatva a rácsot - hogy a gyökerek a legkevésbé sérüljenek – nyertük ki a gyökereket (5. ábra/C). Mértük a kimosott gyökér hosszát, majd gyökérzetet két részre vágtuk: 0-30 cm (felszíni gyökerek) és 30 cm alatt (mély gyökerek). A gyökereket 60 °C-on, 24 órán keresztül szárítottuk, majd mértük a felszíni és mély gyökerek, valamint a teljes gyökérzet tömegét. A kapott eredményekből kiszámítottuk a gyökér/hajtás arányát.

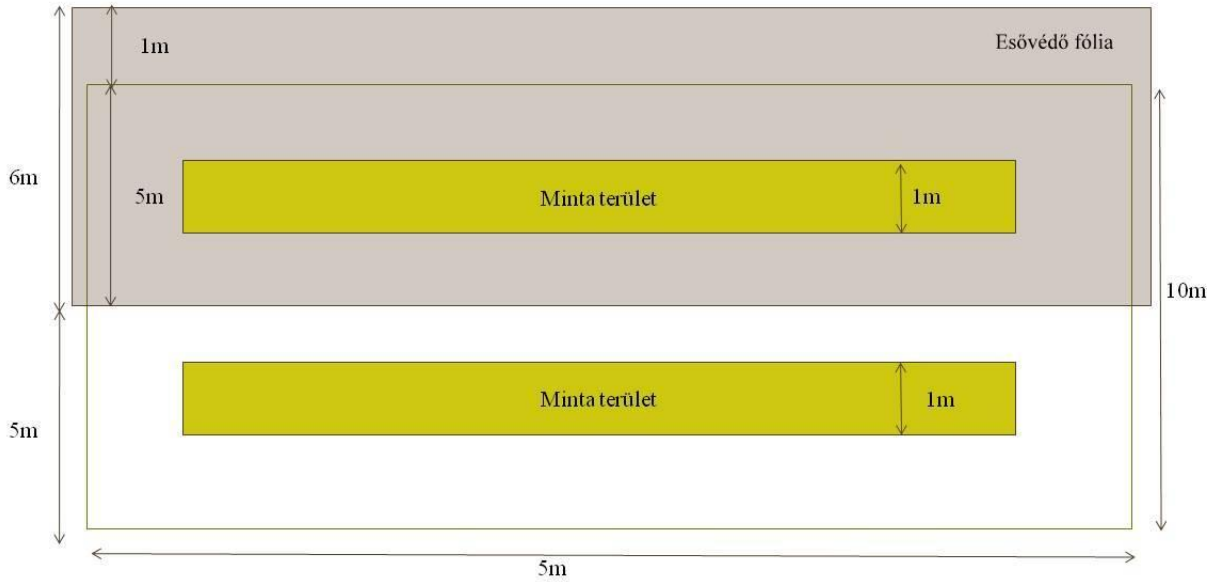
### 4.3.3 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata szabadföldi kísérletben, Keszthelyen

A búza-árpa introgressziós vonalak és szülőpartnerek (lásd. 2. táblázat) szárazságtűrésének vizsgálatát a fenotípusos tulajdonságok vizsgálatával párhuzamosan végeztük, ugyanazon kísérleti területen (lásd. 4.2.3 fejezet) a 2010/11 és 2011/12-es tenyészidőszakban.

A vízhiány indukálására a 10 m hosszú sorok 5 m hosszú szakasza fölé nyitott végű fóliát (6. ábra) állítottunk, 2011-ben március 29.-én, 2012-ben április 02.-án, a szárbaszökés kezdetén (Zadoks 30-31). A parcella fekvéséből adódóan – az eső beverését meggátlandó a kezelt területre – az esővédőfólia 1 m-rel túlnyúlt a sorokon.



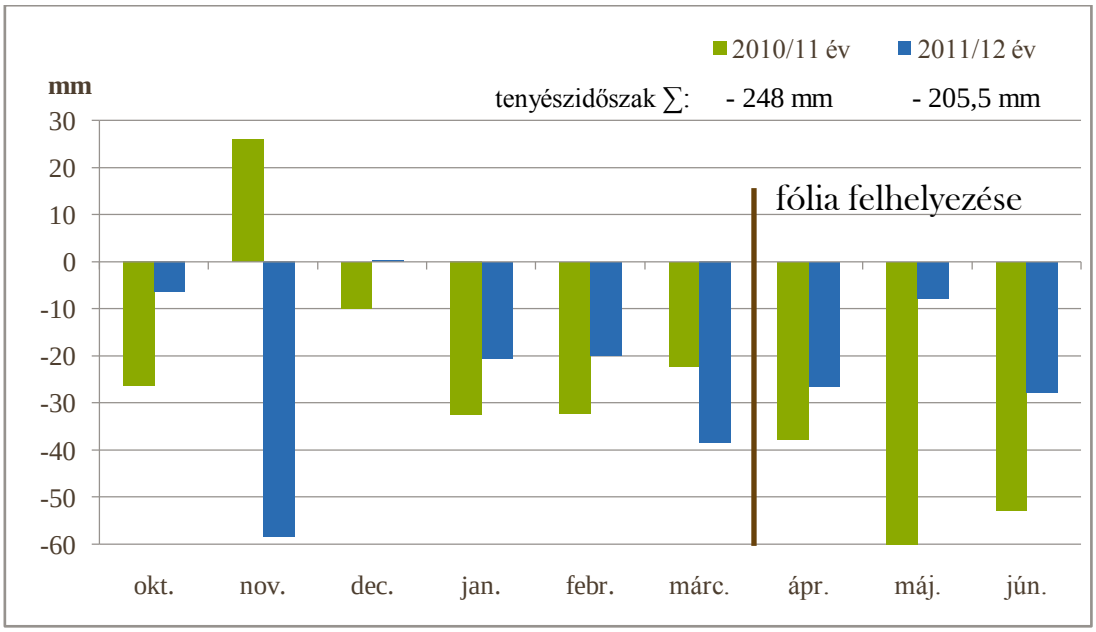

**5. ábra:** A: a növények gyökereinek kimosására alkalmazott mosókád és rács. B: a kinyerni kívánt gyökér kibontása a növénynevelő közeget tartó polietilén zacskóból. C: a kinyerni kívánt gyökér, mosás közben (2013. június, Keszthely). Fotó: Kollaricsné Horvát M.




| Sor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| genotípus | szegély | | 4H (4D) | 2H | 3H | 4H | 7H | 6HS | 3BL.3HS | 6B-4H | 7D-5HS | 6H | Mv9kr1 | Igri | Ch.S | Betzes | szegély | |

**6. ábra:** A kísérleti parcella elrendezése.

A fólia alatt fejlődő növények a nem takart növényekhez képest – a termés biztonsága érdekében kijutattott 10-10 mm-nek megfelelő öntözővízzel együtt 2011-ben 72 mm-el, 2012-ben 161 mm-el kevesebb csapadékhoz jutottak (7. ábra).




**7. ábra:** A 2010/11 és 2011/12 vegetációs periódus csapadékmennyiségének eltérése a sokéves átlagtól. Mindkét évben a termés megóvása érdekében a virágzást megelőzően 10-10 mm-nek megfelelő mennyiségű öntözővizet jutattunk a kontroll növényekre.

A kontroll és a stresszelt állományban 2 hetes gyakorisággal mértük a talaj aktuális nedvességtartalmát (100 cm mélységig, 20-cm-es talajszelvényenként), valamint naponta kétszer (reggel és délben) rögzítettük a hőmérsékleti adatokat. A fólia nyitottsága és viszonylag kis alapterülete miatt csekély, átlagosan 1,5 $^{0}$C hőmérséklet különbséget tapasztaltunk a két növényállomány között.

A talajminták nedvesség tartalmának mérését a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék talajtani laborjában végeztük gravimetriás módszerrel. A különböző mélységből származó talajmintákat csiszolatos üvegbe bemértük, majd 105 °C-on szárítottuk és visszamértük a légszáraz talaj tömegét. A mért értékekből a talaj aktuális nedvességtartalmát a száraz talaj tömegéhez viszonyított tömeg %-ban fejezzük kit. A talajnedvesség (3. táblázat) az esővédő fólia pára visszafogó hatása kezdetben a felső 20 cm-es talajrétegben nem okozott változást, azonban felállítást követő 6. héten (3. mérés) mindegyik talajrétegben nedvesség csökkenést tapasztaltunk. A 10. héten (5. mérés) a minta-vevőbotot csak a 60 cm-es talajmélységig lehetett leütni a stresszelt állomány talajában, ezért a 60-80 és a 80-100 cm-es mélységéből már nem tudtunk mintát venni.

**3. táblázat:** Az esővédő fóliával letakart kísérleti terület aktuális víztartalmának alakulása a kontroll százalékában, különböző talajmélységekben, két év átlagában (2011, 2012, Keszthely). Az első mintavétel a vízmegvonást követő második héten, majd azt követően kéthetente történt.

| Talaj szelvény | Nedvesség tartalom a kontroll %-ában | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1. mérés | 2. mérés | 3. mérés | 4. mérés | 5. mérés |
| **0-20 cm** | 100,17 | 102,10 | 80,15 | 60,11 | 78,89 |
| **20-40 cm** | 98,84 | 97,67 | 93,41 | 86,65 | 90,85 |
| **40-60 cm** | 97,85 | 99,53 | 88,98 | 94,31 | 99,70 |
| **60-80 cm** | 101,00 | 100,12 | 98,98 | 91,93 | - |
| **80-100 cm** | 101,14 | 99,00 | 93,71 | 91,20 | - |

A vegetáció során felvételeztük a fenológiai fázisok megjelenésének időpontjait, valamint a zászlóslevél felületének alakulását. Betakarításkor mértük a kalászok számát, a növénymagasságot és a kalászhosszt, majd meghatároztuk a szemszám/kalász, a szemtömeg/kalász értékét.

Május végén, a tejes érés idején GFS-3000 infravörös gázanalizátorral (Walz, Effeltrich, Germany) mértünk a zászlóslevelek fotoszintetikus aktivitását. A nettó széndioxid fixálás mértékét, ill. a sztómakonduktanciát Caemmerer és Farquhar (1981) módszere szerint határoztuk meg. A gázanalizátoros méréseket követően a fluoreszcencia indukciós

paraméterek. amplitudó moduláció elvén működő fluorométerrel (PAM 101-103, Walz, Effeltrich, Germany) mértünk. A mérések előtt a leveleket sötét adaptáltuk, majd meghatároztuk az alap ($F_0$) és a maximális (Fm) fluoreszenciát, ill. a fényadaptált maximális (Fm') fluoreszenciát. A mért paraméterekből kiszámítottuk a PSII fotokémiai folyamatainak optimális kvantumhasznosítását (Fv/Fm, Bilger és Schreiber 1986) az effektív kvantumhasznosítást (ΔF/Fm') (Genty és mtsai. 1989), és a nem fotokémiai kioltást (NPQ) (Bilger és Björkman 1990). A vizsgálatokat kezelésenként három növényen végeztük el.

A fotoszintézis vizsgálatokkal egyidejűleg meghatároztuk a növények relatív víztartalmát (RWC). Mértük a zászlóslevelek friss tömegét, ezután szobahőmérsékleten 24 órára vízbe helyeztük, majd a leitatva a rátapadt vizet, mértük a vízzel telített tömeget. A száraztömeget 24 órás, 65 $^{o}$C-os szárítást követő méréssel kaptuk meg. A mért adatokból az RWC értéket a következő képlet segítségével számoltuk:

$$\mathbf{RWC = (FW - DW) / (TW - DW)}$$

ahol FW a levágott levél friss tömege, TW a vízzel telített levél tömege, a DW a levél száraz tömege (Schonfeld és mtsai. 1988).

### 4.3.4 Szárazság tolerancia indexek számítása

A szárazságtűrést célzó vizsgálataink terméseredményeit felhasználva 8 különböző szárazságtolerancia indexet számoltunk, majd a vizsgált genotípusokat rangsoroltuk. Az STI, GMP, MP, YSI, YI indexek legmagasabb értékét adó genotípusok kerültek a rangsor 1. helyére, míg az SSI és a TOL indexeknél a legalacsonyabb értékek. Az indikátorokat a következő képletek szerint számoltuk:

1. **Tolerancia index** (stressz tolerance)

$$TOL = Yp - Ys,$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között (Rosielle és Hamblin 1981).

2. **Stressz érzékenységi index** (stress susceptibility index)

$$SSI = \frac{1 - Ys/Yp}{1 - \overline{Y}s/\overline{Y}p}$$

ahol $\overline{Y}p$ és $\overline{Y}s$ az összes genotípus átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között (Fischer és Maurer 1978).

3. **Stressz tolerancia index** (stress tolerance index)

$$STI = \frac{Ys * Yp}{\overline{Y}p^2}$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között, valamint $\overline{Y}p$ az összes genotípus átlagos termése kontroll körülmények között (Fernandez 1992).

4. **Termés stabilitás index** (yield stability index)

$$YSI = \frac{Ys}{Yp}$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között (Bouslama és Schapaugh 1984).

5. **Harmonikus átlag** (harmonic mean)

$$HM = \frac{2(Ys)(Yp)}{(Ys + Yp)}$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között.

6. **Átlagos termőképesség** (mean productivity)

$$MP = \frac{Ys + Yp}{2}$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között (Rosielle és Hamblin 1981).

7. **Geometrikus átlagos termőképesség** (geometric mean productivity)

$$GMP = \sqrt{Ys * Yp}$$

ahol Yp és Ys a genotípusok átlagos termése kontroll és vízhiányos körülmények között (Fernandez 1992).

8. **Termés index** (yield index)

$$YI = \frac{Ys}{\overline{Y}s}$$

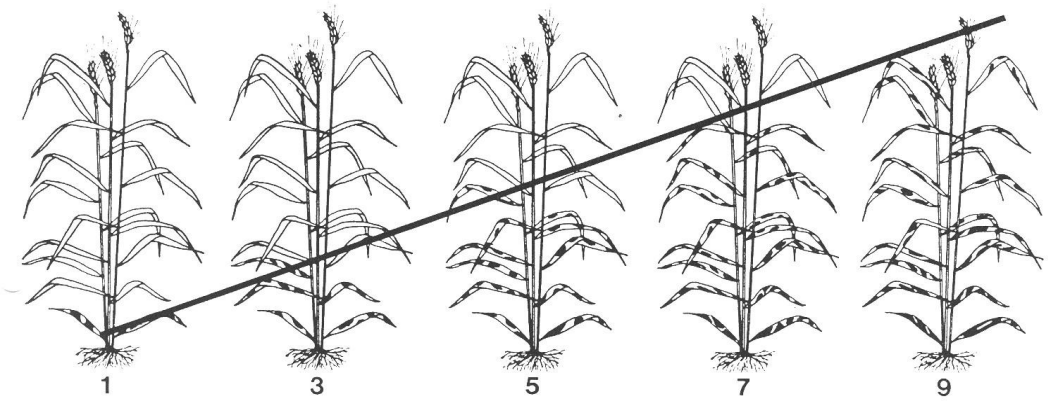
ahol Ys a genotípusok átlagos termése és $\overline{Y}s$ az összes genotípus átlagos termése vízhiányos körülmények között (Gavuzzi és mtsai. 1997).

## 4.4 Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülésének eshetőségét ellenőrző vizsgálatok

### 4.4.1 Lisztharmat fertőzés mértékének felmérése a szabadföldi állományban

A szántóföldi kísérletben, 2012 tavaszán a lisztharmat fertőzés mértékét a növények fejlődése során több időpontban felvételeztük: a szár növekedési szakaszának végétől (ZAD 40) a viaszérés elejéig (ZAD 80).

A fertőzés intenzitásának megállapítására Saari és Prescott (1975) 0-tól 9-ig terjedő bonitálási skáláját használtuk (8. ábra). Emellett felvételeztük a növény és a zászlóslevél felületi borítottságát is.




**8. ábra:** Levélbetegségek felvételezéséhez használt Saari és Prescott skála (Saari és Prescott nyomán, 1975). Forrás: Szunics és Szunics 2010.

### 4.4.2 Molekuláris genetikai vizsgálatok

A molekuláris genetikai vizsgálatokhoz mindegyik genotípusról (kivéve a nem fertőződött 6H addícióról) erősen fertőzött leveleket gyűjtöttünk, majd a fertőzött foltokból kazmotéciumokat izoláltuk. A kazmotéciumok teljes genomi-DNS-ének kivonásához Phire Plant Direct PCR Kit-et (Thermo Fisher Scientific, USA) használtunk. A direkt PCR (diPCR) amplifikáció során a sejtmagi riboszómális DNS ITS-régiói (Internal Transcribed Spacer = átíródó elválasztó szakaszok) kerültek felszaporításra, amelyhez White és mtsai. (1990) által leírt ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') és ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') primerekket használtunk.

A PCR-amplifikáció 20 $\mu$l térfogatú oldatban zajlott, ami 8,6 $\mu$l nukleáz mentes vizet, ~20 ng templát DNS-t, 0,2 µM ITS1 és ITS4 primert, 0,2 mM dNTP-t, 10 $\mu$l PCR puffert (1 mM Tris-HCl, 25˚C-on pH 8.8, 1,5 mM $MgCl_2$, 50 mM KCl és 0,1% Triton X-100), valamint 0,4 Phire Hot Start II DNA polimerázt (Thermo Fisher Scientific, USA) tartalmazott. A PCR-reakció ciklusai a következők voltak: (i) 5 perc előzetes denaturáció, 98˚C-on; (ii) 40 ciklus, 20 másodperces denaturáció, 98 ˚C-on, 1 perc kapcsolódás (annealing), 53 ˚C-on, és 2 perc láncépítés, 72 ˚C-on; (iii) majd egy végső lánchosszabbítás 5 percig, 72 ˚C-on.

Az amplifikáció során keletkezett terméket 1,5 %-os agaróz gélen szétválasztottuk, majd etidum-bromid festéssel tettük láthatóvá. A PCR fragmenteket a gélből kivágtuk, a tisztításhoz 0,5 µl (10 U) Exonuclease I-et (Fermantas, Lithuania), és 1 µl (1 U) FastAp Thermosensitive Alkaline Phosphatase-t (Fermantas, Lithuania) használtunk. Ezután PCR készülékben 37 °C-on 15 percig inkubáltuk, majd a reakciót 85 °C-on, 15 perces inkubálással zártuk le.

A kapott terméket ABI 3130XL készüléken mindkét irányba szekvenáltuk a korábban használt ITS1 és ITS4 primerek és ABI PRISM BigDye Terminator Cycle Sequencing Ready Reaction Kit segítségével.

A szekvenciák illesztését és elemzését a Helsinki Egyetemről Dr. Poczai Péter végezte a CodonCode Aligner v.3.7.1. (codoncode.org), ill. a Geneious v.4.8.5 (geneious.com) programmal. A kapott szekvenciák a GenBank adatbázisban található szekvenciákkal kerültek összehasonlításra.

### 4.4.3 Direkt fertőzési vizsgálatok

A vizsgálat során a búza-árpa introgressziós vonalakat (lásd. 2. táblázat), valamint kontrollként az Mv9 kr1 búza és az Igri árpa szülőket teszteltük árpalisztharmattal (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) szembeni fogékonyságra.

A fertőzéshez a *B. graminis.* f.sp. *hordei* A6-os (Wiberg 1974) és BP izolátumait (magyar lisztharmatizolátum, El-Zahaby és mtsai. 1995) használtuk, amelyeket előzetesen az Igri árpa szülőn teszteltünk és felszaporítottunk. Az árpa lisztharmat izolátumokat a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézetből Dr. Barna Balázs bocsátotta rendelkezésünkre. Az introgressziós vonalakat és a szülő partnereket izolátor ládában, az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet üvegházban állítottuk kísérletbe. Minden genotípusból 10-10 db növényt neveltünk, izolátumonként 3 ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben. A növényeket 16 órás természetes és kiegészítő, mesterséges

megvilágítás mellett, 18 °C-on neveltük. Az izolátor ládákban a páratartalom 80-90 %-os volt. A vetést követő 9-10. napon, 1-2 leveles korban fertőztük az állományt. A konídiumokat a teszt növények levélfelületére ráztuk. Az értékelés a fertőzést követő 10. napon történt.

## 4.5 Molekuláris citogenetikai vizsgálatok

### 4.5.1 Addíciós vonalak citogenetikai ellenőrzése

A molekuláris citogenetikai vizsgálatokat az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztályának Molekuláris Citogenetika laborjában végeztük. A vizsgálat során Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak (2H, 3H, 4H, 6HS és 7H) citológiai ellenőrzését végeztük el genomi *in situ* hibridizációval. Ezek az ellenőrzött növény anyagok kerültek kiültetésre tenyészedényes kísérletbe 2011-ben, majd ezek utódait használtuk fel a következő évben.

Az addíciós vonalak és a szülőpartnerek 30 db szemét nedves szűrőpapíron csíráztattuk, majd a csíráztatás 4. napján +4 °C-ra tettük 24 órára, ezzel a lehető legtöbb sejt az osztódás metafázisába került. A hidegkezelés után 1-1,5 cm-es gyökérdarabokat 0 °C-os MQ vízbe tettük, ezzel állítva le a sejtek osztódását. Újabb 24 órás hidegkezelés után abszolút alkohol és jégecet 3:1 arányú keverékében egy hétig, 37 °C-on inkubáltuk a gyökereket.

A kromoszóma preparátumok készítése előtt 30 percre 1 %-os kárminecetsavba, majd 45 %-os ecetsavba helyeztük a gyökereket. A preparátumok készítésekor 45 %-os ecetsavban nyomtuk szét a gyökércsúcsot, majd a megfelelő minőségű preparátumok tárgylemezét folyékony nitrogénbe helyeztük és lepattintottuk a fedőlemezt. Felhasználásig -20 °C-on tároltuk.

A vizsgálni kívánt preparátumokat 10 µl/ml koncentrációjú RNáz oldatba helyeztük és 60 percig, 37 °C-on inkubáltuk, majd 2×2 percig, 2×SSC oldatban mostuk. A DNS denaturációjához 70 %-os formamidba helyeztük a tárgylemezeket és 3 perc 15 másodpercig 70 °C-os vízfürdőbe tettük, majd a tárgylemezeket -20 °C-os, 70 %-os alkoholba helyeztük, 2×2 percre. Ezt követően szintén -20 °C –os, 90%-os és abszolút alkoholban öblítettük, 3 ill. 5 percig, majd hagytuk a levegőn megszáradni a mintákat.

A hibridizációhoz perparátumonként 50 µl hibridizációs keveréket (5 µl 2×SSC, 20 µl 25%-os dextrán-szulfát, 1,25 µl 10 %-os nátrium dodecil-szulfát, 1,4 µg próba DNS és 1,1 µg blokkoló DNS) használtunk. A hibridizációs keveréket 10 percig forraltuk, majd jégre helyeztük. A mintákra 48 µl hibridizációs keveréket csepegtettünk, majd 2 és fél órán

keresztül, 65 °C-on hibridizáltuk. Ezt követően 65 °C vízfürdőbe, 2×5 percig, 2×SSC pufferoldatban mostuk a tárgylemzeket, majd hagytuk kihűlni. A detektáláshoz 27 µl TNB-t és a próba DNS jelölésétől függően 3 µl Streptamitin FIC (Roche) vagy digoxygenin-t tartalmazó keverékkel, 30 percig, 37 °C-on inkubáltuk a mintákat.
A jelöletlen kromoszómákat kontrasztfestése 1 µg/ml DAPI-val (4'6-diamidino-2-phenylindole, Amersham) történt. A kromoszómák fluoreszcens jelölődést Zeiss Axioskop-2 epifluoreszcens mikroszkóppal detektáltuk. A fényképeket Spot CCD kamerával (Diagnostic Instruments, Inc., USA) készítettük és az Image ProPlus 4.0 program (Media Cybernetics) segítségével elemeztük.

### 4.5.2 Eltérő morfológiájú egyedek ellenőrzése

A 2010-2011-es szabadföldi kísérletben észlelt eltérő morfológiájú 2H, 7H addíció, 4H(4D) szubsztitúció és 6B-4H transzlokáció citológiai ellenőrzése az előző fejezetben leírt módszer szerint történt.

## 4.6 Statisztikai értékelés

A vizsgálatok során kapott eredmények statisztikai értékelését SPSS 20.0 statisztikai programmal végeztük.
A búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek fenológiai tulajdonságaiban meglévő különbségek igazolására variancia analízist (ANOVA) végeztünk. A főátlagokat DUNCAN post hoc tesztel hasonlítottuk össze ($P < 0,05$). A fertilitás vizsgálat során a kalász középső 10 kalászkájának szemszámát vettük figyelembe.
A szárazságtűrési kísérletekben a kezeléshatás igazolására t-próbát alkalmaztunk. A stressztolerancia indexek értékei szerint rangsoroltuk a vizsgált növényeket. Az STI, GMP, MP, YSI, YI indexek esetében a legmagasabb értékét adó genotípusok kerültek a rangsor 1. helyére, míg az SSI és a TOL indexeknél a legalacsonyabb értékek. Az indexek közötti kapcsolat megállapítására ezen a rangsoron alapuló Spearman-féle rangkorrelációs koefficienst számoltunk. Az indexek közötti kapcsolat évjárat és vizsgálati típustól független meglétének igazolására főkomponens analízist végeztünk.
Az elemzésekben szereplő adatok elemszáma kísérleti típusonként változott, értékeik az oda vonatkozó fejezetekben megtalálhatóak.

# 5. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

## 5.1 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotípusos tulajdonságainak vizsgálata

### 5.1.1 Csírázási kísérletek

Csírázási kísérleteink során vizsgáltuk az árpa kromoszómák, illetve kromoszóma szegmentumok a csíranövények fejlődésére, illetve a fejlődés ütemére gyakorolt hatását.

Az egyes genotípusok egymáshoz és a szülőkhöz képest is eltérő ütemű növekedést mutattak. Az Mv9 kr1 őszi búza rügyecske hossza rövidebb volt a vizsgált genotípusok átlagánál (4. táblázat), a 6. vizsgálati napon pedig a legrövidebb volt. Kezdetben a 7D-5HS és a 6H származékok rügyecske hossza elmaradt az Mv9 kr1 búza szülőtől. A 6H addíció rügyecske hossza a többi genotípushoz képest a 6. nap kivételével mindvégig a legrövidebb volt. Az Igri és a Betzes árpák rügyecskéje volt a leghosszabb. A 3HS.3BL transzlokáció, a 2H és a 3H addíció kivételével a búza-árpa introgressziós vonalak a vizsgálat ideje alatt mindvégig az Mv9 kr1 búza szülővel azonos csoportot alkottak (4. táblázat, Duncan teszt 'a', ill. 'ab…' csoportjai). Az addíciós vonalak közül a 2H, és a 3H vonalak az Igri árpa szülőhöz hasonló rügyecske hosszt mutattak, míg a 7H kezdetben az Igri szülőnél hosszabb, majd a 6. naptól az Mv9 kr1 búza szülőhöz hasonló hajtáshossz értékeket adtak. A 3HS.3BL rügyecske hosszának alakulása a Chinese Spring tavaszi búza szülőhöz hasonlított leginkább.

A 6B-4H transzlokáció kezdeti fejlődése vonatottabb volt, sem a rügyecskéje, sem a gyököcskéje még nem volt mérhető a 2. napon.

Az Mv9 kr1 búza szülő gyököcske hossza volt a legrövidebb a 2. napon (5. táblázat), azonban a vizsgálat ideje alatt gyorsan növekedett, és a 8. naptól ennek a genotípusnak lett a második leghosszabb gyökere. A 3HS.3BL és a 7D-5HS transzlokációk az Mv9 kr1-hez hasonlóan viselkedtek. Az Igri őszi árpa szülő gyököcskéje kezdetben hosszabb volt a kísérleti átlagnál, majd a növekedésének üteme lelassult, és a 6. naptól ennek a genotípusnak volt a legrövidebb gyökere. A Betzes tavaszi árpa szülő gyököcskéje is kezdetben hosszabb volt az átlagnál, de a növekedési üteme kevésbé lassult le, mint az Igri árpáé. A 6HS és a 7H addíciók az Igri szülőhöz hasonló gyököcske növekedési ütemet mutattak. A vizsgált búza-árpa introgressziós vonalak közül a 2H, 4H(4D), és a 3HS.3BL gyököcskéje volt a leghosszabb.

**4. táblázat:** A vizsgált búza-árpa addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalak, valamint a szülőpartnerek rügyecske hossza a csírázást követő 2., 4., 6., 8. és 10. napon.

| Genotípus | Hajtáshossz, mm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2. nap | | 4. nap | | 6. nap | | 8. nap | | 10. nap | |
| 2H | 3,08 | c | 32,18 | g | 67,68 | g | 105,80 | fg | 145,13 | fg |
| 3H | 2,75 | abc | 24,75 | de | 58,41 | ef | 97,93 | def | 125,36 | bcd |
| 3HS.3BL | 2,33 | ab | 21,15 | bcde | 57,56 | def | 110,83 | g | 139,29 | efg |
| 4H | 2,67 | abc | 26,11 | ef | 54,71 | bcde | 88,94 | bcd | 120,76 | bc |
| 4H (4D) | 2,75 | abc | 24,18 | de | 43,90 | a | 75,31 | a | 114,09 | b |
| 6B-4H | - | | 12,01 | a | 50,20 | abcde | 79,48 | ab | 99,82 | a |
| 6H | 2,13 | a | 21,80 | bcde | 48,86 | abcd | 74,22 | a | 99,59 | a |
| 6HS | 3,72 | d | 22,23 | cde | 47,90 | abc | 80,28 | ab | 116,61 | b |
| 7D-5HS | 2,18 | a | 17,16 | abc | 46,35 | ab | 92,31 | cde | 120,03 | bc |
| 7H | 3,24 | cd | 24,58 | de | 50,03 | abcde | 92,46 | cde | 129,70 | cde |
| Betzes | 2,98 | c | 30,07 | fg | 79,58 | h | 132,70 | i | 159,68 | h |
| Ch. S | 2,25 | ab | 19,25 | bcd | 56,53 | cdef | 100,28 | ef | 135,54 | def |
| Igri | 2,82 | bc | 21,24 | bcde | 63,18 | fg | 122,57 | h | 148,74 | gh |
| Mv9 kr1 | 2,21 | ab | 16,50 | ab | 42,08 | a | 84,42 | abc | 115,95 | b |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H (4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

A legtöbb gyökeret az Igri őszi árpa és a Betzes tavaszi árpa hozta (5. táblázat) és ezeknek a genotípusoknak volt a legnagyobb hajtás-, és a gyökértömege (6. táblázat).

A vizsgált vonalak hajtástömege a 4H és a 4H(4D) kivételével több volt, mint az Mv9 kr1 őszi búza szülőé (6. táblázat). A 2H és a 3HS.3BL hajtástömege volt a legnagyobb (0,1 g), azonban a 2H gyökértömege (0,05 g) és a gyökereinek száma volt a legkevesebb (3,6 db), míg a 3HS.3BL gyökérszáma volt a legtöbb. A 4H(4D) gyökértömege meghaladta a hajtástömeg értékét, ami igen kedvező gyökér/hajtás arány kialakulást tett lehetővé.

**5. táblázat:** A vizsgált búza-árpa addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalak, valamint a szülőpartnerek gyököcske hossza a csírázást követő 2., 4., 6., 8. és 10. napon.

| Genotípus | Gyökérhossz, mm | | | | | Gyökerek száma, db |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2. nap | 4. nap | 6. nap | 8. nap | 10. nap | |
| 2H | 10,48 e | 58,00 g | 103,90 f | 139,55 de | 166,78 d | 3,60 a |
| 3H | 7,79 cd | 47,33 cd | 90,28 cde | 126,56 cd | 162,23 cd | 4,03 ab |
| 3HS.3BL | 3,96 a | 47,83 cd | 100,10 ef | 144,50 e | 170,12 d | 5,20 f |
| 4H | 8,15 cd | 49,78 def | 95,38 def | 130,74 cde | 162,58 cd | 4,61 cde |
| 4H (4D) | 9,37 de | 54,82 efg | 95,23 def | 132,63 cde | 167,43 d | 4,97 ef |
| 6B-4H | - | 31,67 a | 80,78 bc | 127,95 cd | 156,24 bcd | 4,03 ab |
| 6H | 6,02 b | 39,26 b | 71,65 bc | 94,92 ab | 111,95 a | 3,76 a |
| 6HS | 9,91 e | 48,25 cde | 80,39 bc | 100,92 b | 116,81 a | 4,99 ef |
| 7D-5HS | 4,52 ab | 45,61 bcd | 95,31 def | 140,78 de | 166,15 d | 4,68 cde |
| 7H | 9,37 de | 48,81 cdef | 86,53 cd | 116,87 c | 144,40 bc | 4,30 bc |
| Betzes | 9,40 de | 55,33 fg | 90,50 cde | 128,79 cde | 150,37 bcd | 6,38 g |
| Ch. S | 4,21 a | 39,99 b | 75,56 b | 118,12 c | 138,87 b | 4,84 def |
| Igri | 7,56 c | 40,53 b | 60,33 a | 85,97 a | 100,43 a | 6,28 g |
| Mv9 kr1 | 3,75 a | 42,03 bc | 91,86 de | 140,79 de | 170,09 d | 4,56 cde |

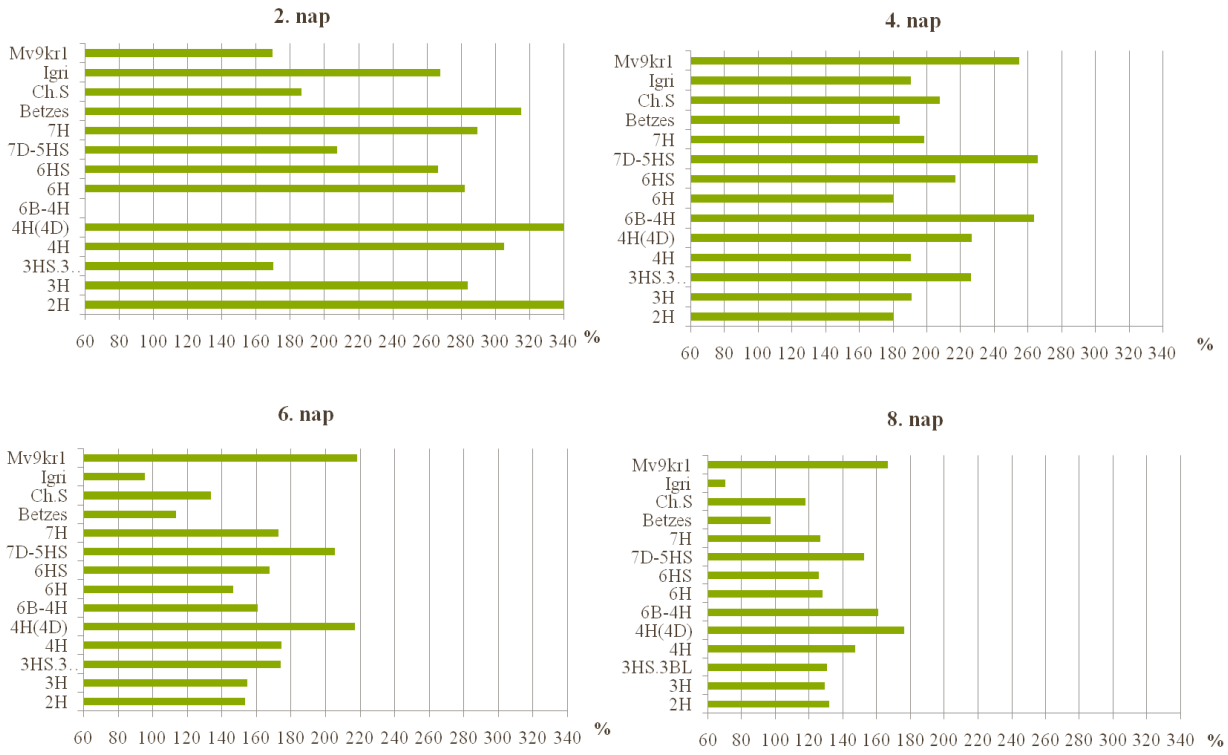
A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H (4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

**6. táblázat:** A vizsgált búza-árpa addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalak, valamint a szülőpartnerek hajtás-, és gyökértömege, valamint gyökér-hajtás tömeg aránya (%) a csírázást követő 10. napon.

| Genotípus | Száraztömeg, g | | |
|---|---|---|---|
| | hajtás | gyökér | % |
| 2H | 0,095 bcd | 0,053 a | 55,26 |
| 3H | 0,091 bcd | 0,070 cd | 76,71 |
| 3HS.3BL | 0,096 cd | 0,086 e | 89,61 |
| 4H | 0,069 a | 0,065 bc | 94,55 |
| 4H(4D) | 0,066 a | 0,071 cd | 107,55 |
| 6B-4H | 0,089 bc | 0,071 cd | 80,28 |
| 6H | 0,071 a | 0,055 ab | 77,19 |
| 6HS | 0,079 ab | 0,066 c | 84,13 |
| 7D-5HS | 0,094 bcd | 0,080 de | 85,33 |
| 7H | 0,089 bc | 0,065 bc | 73,24 |
| Betzes | 0,106 d | 0,111 f | 104,71 |
| Ch.S | 0,070 a | 0,048 a | 67,86 |
| Igri | 0,139 e | 0,105 f | 75,68 |
| Mv9kr1 | 0,073 a | 0,070 cd | 96,55 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H (4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

A növények fejlődése és különösen a szárazságtűrés szempontjából a gyököcske és a rügyecske egymáshoz viszonyított növekedése, aránya fontos mutató (Hoffmann és mtsai. 2009). Az erőteljesebb gyököcske hossznövekedés a szárazságtűrés szempontjából előnyösnek bizonyulhat. A 2. napon a búza szülőhöz képest a 3HS.3BL kivételével mindegyik genotípus gyököcske/rügyecske hosszaránya nagyobb volt (9. ábra). Azonban a 4. naptól a harmadik, majd a 6. naptól a második legnagyobb volt az Mv9 kr1 búza gyököcske/rügyecske hosszaránya. A vizsgált introgressziós vonalak közül a 4H(4D), 6B-4H és a 7D-5HS vonal gyököcske-rügyecske hosszaránya volt a legnagyobb. A növények fejlődésével párhuzamosan csökkent a gyököcske/rügyecske hossz-aránya, a 6. napon az Igri árpánál mértük a legkisebb értéket.




**9. ábra:** A vizsgált búza-árpa addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalak, valamint a szülőpartnerek gyökérhossz-hajtáshossz aránya a csírázást követő 2., 4., 6., 8. és 10. napon.

Az eredmények ismeretében a rügyecske hossznövekedésére kedvező hatást gyakorolhat a 2H és a 3H, ill. 3HS árpa kromoszóma, a gyököcske hossznövekedésére pedig a 2H, 4H, 6HS és a 7H árpa kromoszóma. A rügyecske és a gyököcske tömegét a 3HS és az 5HS árpa kromoszóma-kar növelte.

### 5.1.2 Búza-árpa addíciós vonalak fenotipizálása tenyészedényes kísérletekben

Tenyészedényes vizsgálatainkban Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalakon vizsgáltuk, milyen hatással vannak az egyes árpa kromoszómák az őszi búza értékmérő tulajdonságaira (virágzás-, és érésidő, növénymagasság, kalászok száma, kalászhossz, szemszám, termésmennyiség).

**Virágzás és érés ideje**

A virágzás időtartalma mindkét évben átlagosan 3-4 nap volt, az addíciós vonalak virágzási idejükben szignifikáns különböztek egymástól és az Mv9 kr1 búza szülőtől is (7. táblázat). Az Igri szülővel egy időben a 7H addíció virágzott a legkorábban, míg a többi addíciós vonal az Mv9 kr1 szülőnél is később virágzott A 4H vonal virágzott legkésőbb. A korai 7H és a késői 4H addíciós vonal virágzási idejében 31 és 35 nap különbséget tapasztaltunk 2011-ben és 2012-ben, amely az érés idejére is megmaradt (10. ábra). Szántóföldi kísérleteinkben a két genotípus virágzási idejében kisebb eltérést tapasztaltunk (lásd. 5.1.3). A szemtelítődés ideje a 2H, 4H és a 6HS addíció esetében rövidült a szülőpartnerekhez képest, mindkét évben (7. táblázat).

**7. táblázat:** Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak és a szülőpartnerek virágzási-, érési-, és szemtelítődési ideje, tenyészedényes kísérletben (2011, 2012, Martonvásár).

| Genotípus | Virágzási idő, nap Z:64-65 | | Szemtelítődés, nap Z:71-92 | | Érésidő, nap Z:92 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 142 c | 144 c | 35 a | 36 a | 179 cd | 182 cd |
| **3H** | 141 c | 143 c | 41 b | 39 b | 184 d | 184 d |
| **4H** | 163 d | 162 d | 34 a | 36 a | 199 e | 201 e |
| **6HS** | 136 b | 139 b | 36 a | 36 a | 176 b | 178 b |
| **7H** | 128 a | 131 a | 39 b | 39 b | 169 a | 172 a |
| **Mv9kr1** | 134 b | 138 b | 41 b | 39 b | 178 c | 180 c |
| **Igri** | 128 a | 131 a | 39 b | 39 b | 168 a | 172 a |
| **Átlag** | 138,86 | 141,14 | 37,86 | 37,71 | 179,00 | 181,29 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P<0,05 szinten, Duncan teszt alapján.

Z: a fejlődési stádiumok Zadoks skála szerinti besorolása (a virágzás- és érésidő a csíráztatástól eltelt idő, napokban).

**10. ábra:** A 4H és 7H addíciós vonal kb. 30 napos eltéréssel virágzott a tenyészedényes kísérletekben (2012, Martonvásár). Saját felvétel.

**Növénymagasság és kalászhossz**

A növénymagasság és a kalászhossz tekintetében az addíciós vonalak és a szülőpartnerek különböztek (8. táblázat). Az Mv9 kr1 búza szülőnél a 2H vonal szignifikánsan magasabb, a 3H és a 6HS vonal szignifikánsan alacsonyabb volt.

**8. táblázat:** Mv9 kr1 × Igri addíciós és a szülőpartnerek morfológiai tulajdonságai, termése, valamint a terméselemek alakulása tenyészedényes kísérletben (2011, 2012, Martonvásár).

A)

| Genotípus | Növénymagasság, cm | | Kalászhossz, cm | | Kalász / növény, db | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 54,56 e | 71,44 c | 10,16 e | 11,52 e | 3,33 b | 2,67 c |
| **3H** | 38,00 a | 46,56 a | 7,45 b | 9,44 b | 2,94 ab | 2,00 ab |
| **4H** | 43,17 b | 57,11 b | 9,28 d | 10,57 d | 2,44 a | 1,44 ab |
| **6HS** | 45,33 bc | 49,67 a | 9,24 d | 10,13 cd | 3,06 b | 1,78 ab |
| **7H** | 49,11 cd | 59,00 b | 8,45 c | 9,69 bc | 3,89 c | 3,33 d |
| **Mv9kr1** | 51,39 de | 61,89 b | 10,47 e | 10,21 d | 3,06 b | 2,22 bc |
| **Igri** | 59,17 f | 62,22 b | 6,90 a | 8,76 a | 5,33 d | 3,78 d |
| **Átlag** | 48,67 | 58,27 | 8,85 | 10,05 | 3,44 | 2,46 |

B)

| Genotípus | Szem / főkalász, db | | Termés / növény, g | | ESZT, g | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 29,22 c | 33,22 c | 2,61 b | 2,35 b | 32,74 b | 38,45 c |
| **3H** | 29,39 c | 41,11 d | 2,53 b | 2,39 b | 35,91 c | 38,91 c |
| **4H** | 41,56 d | 65,11 e | 2,46 b | 2,42 b | 32,34 b | 34,96 a |
| **6HS** | 38,11 d | 46,22 d | 3,66 d | 2,61 b | 35,21 c | 36,71 b |
| **7H** | 7,00 a | 9,56 a | 1,15 a | 0,64 a | 51,28 e | 46,70 e |
| **Mv9kr1** | 47,44 e | 39,11 cd | 3,19 cd | 3,36 c | 28,46 a | 42,46 d |
| **Igri** | 17,89 b | 21,44 b | 2,66 bc | 3,42 c | 39,01 d | 49,47 f |
| **Átlag** | 30,09 | 36,54 | 2,61 | 2,46 | 36,42 | 41,09 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.

Az addíciós vonalak közül a 2H-nak volt a leghosszabb, a 3H-nak a legrövidebb kalásza (8. táblázat). A búza-árpa hibridek kalászalakjukat tekintve is jól megkülönböztethetőek, a 2H kalászai hosszúak, lazák, rövid szálkacsonkkal, míg a 3H kalászai tömöttek, bunkós alakúak. A 7H és a 6HS kalászai felfele keskenyedőek. A 4H kalászai az Mv9 kr1 búza szülőére hasonlítanak. A 4H vonal esetében tízből hat növény kalászain tapasztaltunk abnormális kalászka képződést (11. ábra). Ezek az un. számfeletti kalászkák (supernumerary spikelet, SS), a normál kalászkákon ülő többlet kalászkák (multiple sessile spikelets, MSS) típusba tartoztak. A plusz kalászkák száma 3 és 5 között mozgott, bennük 0-2 db kisebb szem volt.

**Produktív bokrosodás**

A kalászszám (produktív bokrosodás) tekintetében a 7H vonal szignifikánsan több kalászt hozott az Mv9 kr1 szülőhöz képest. A búza-árpa addíciós vonalak kalászszáma csak kisebb mértékben különbözött. A 2012-es évi kísérletben növények gyengébben bokrosodtak, így

csupán a 7H vonal növényeinél tapasztaltunk szignifikánsan magasabb kalászszámot az addíciós vonalak között.

**11. ábra:** 4H addíciós vonal kalásza a normál kalászkákon ülő plusz kalászkával (2012, Martonvásár). Saját felvétel.

**Termés és terméskomponensek**

A szemtermés nagyságában a produktív bokrosodás mellett szerepet játszó komponensek a kalászonkénti szemszám és az ezerszemtömeg (ESZT). A kalászonkénti szemszám a 7H vonal esetében volt a legalacsonyabb, feltehetően ennek következtében ez a vonal adta a legnagyobb ESZT-et. A legnagyobb kalászonkénti szemszáma a 4H addíciónak volt, azonban ennek a vonalnak volt a legkisebb ESZT-e, így a termése kevesebb volt az Mv9 kr1 szülőhöz képest.

Az első vizsgálati évben az érés idejére az üvegházban már túl meleg volt a növények számára. A hőstressz az Mv9 kr1 búza szülő ESZT-ét csökkentette a legnagyobb mértékben.

Ennek következtében 2011-ben mindegyik addíciós vonal ESZT-e nagyobb volt a búza szülőénél. A 6HS vonal ezerszemtömegére volt a legkisebb hatása a hőstressznek.

### 5.1.3 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálása szabadföldi kísérletekben

Szabadföldi vizsgálatainkban az 2. táblázatban szereplő búza-árpa introgressziós vonalakon vizsgáltuk, milyen hatással vannak az egyes árpa kromoszómák, kromoszóma szegmentumok az őszi búza értékmérő tulajdonságaira (virágzás-, és érésidő, növénymagasság, kalászok száma, kalászhossz, szemszám, termésmennyiség stb.).

**Virágzás és érés ideje**

A virágzás, ill. az érés idejében a vizsgált genotípusok 5 nappal tértek el egymástól. A 7H addíció 1, ill. 2 nappal virágzott és 2, ill. 4 nappal ért be korábban, mint az Mv9 kr1 búza szülő (9. táblázat). A 6H addíció virágzási ideje az Mv9 kr1 búza szülőhöz hasonlóan alakult, azonban az érés ideje 2, ill. 3 nappal korábbi volt. Ezzel szemben a 2H, 3H, 4H és 6HS addíciós vonalak virágzás és érés ideje az őszi búza szülőénél későbbre tolódott. A 4H addíciós vonal 4 nappal később virágzott, és 5 nappal később ért be az Mv9 kr1 szülőnél. A szemtelítődés ideje hosszabb volt a 3H, 4H addíció esetében, míg a 7H, 6H, 6HS és a 2H addíciónál, valamint a 4H(4D) szubsztitúciónál rövidült. Eredményeink alapján, az árpa szülő koraisága a 7H addíciós kivételével, nem mutatkozott meg a származékokban.

A 4H és a 7H addíció fejlődési ütemében a különbséget szabadföldi vizsgálatainkban is tapasztaltuk. A két vonal között virágzási időben 5, ill. 7 nap, míg érési időben 7, ill. 9 nap eltérést tapasztaltunk.

Az árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatással voltak az introgressziós vonalak növénymagasságára, kalászhosszára, zászlóslevél felületének nagyságára (9. táblázat), ezerszemtömegére, fertilitására és kalásztömöttségére (12. táblázat), valamint a növényenkénti kalászszámra, szemszámra és termésre (13. táblázat). A 2012-es vegetációs év kiegyenlítettebb csapadékeloszlásának köszönhetően a vizsgált tulajdonságok értéke 2012-ben magasabb volt, mint 2011-ben.

**9. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak virágzási és érési idejének alakulása az Mv9 kr1 búza szülőhöz hasonlítva, valamint a szülőpartnerek virágzási és érési ideje szabadföldi vizsgálatainkban (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | Virágzási idő, nap Z:64-65 | | Érésidő, nap Z:92 | | Szemtelítődés, nap Z:71-92 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | +3 | +5 | +1 | +4 | -2 | -1 |
| **3H** | +1 | +4 | +2 | +4 | +1 | 0 |
| **4H** | +4 | +6 | +5 | +5 | +1 | -1 |
| **6H** | 0 | +1 | -2 | -3 | -2 | -3 |
| **6HS** | +1 | +2 | +1 | -1 | 0 | -2 |
| **7H** | -1 | -2 | -2 | -4 | -1 | -2 |
| **7D-5HS** | 0 | +3 | +1 | 0 | +1 | -3 |
| **6B-4H** | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3HS.3BL** | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| **4H(4D)** | 0 | +1 | -2 | -3 | -2 | -3 |
| **Mv9 kr1** | máj. 18. | máj. 10. | jún. 26. | jún. 24. | 36 | 42 |
| **Igri** | máj. 09. | máj. 01. | jún. 10. | jún. 17. | 29 | 44 |
| **Ch. S.** | máj. 31. | máj. 09. | jún. 29. | - | 28 | - |
| **Betzes** | máj. 28. | máj. 01. | jún. 30. | jún. 17. | 30 | 44 |

Z: a fejlődési stádiumok Zadoks skála szerinti besorolása.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

## Morfológiai tulajdonságok

Az Igri árpa szülő zászlóslevél felülete (707, 790 mm$^2$) a vizsgált növények között a legkisebb volt (10. táblázat). A búza-árpa introgressziós vonalak közül a 2H addíciónak (2136 és 3421 mm$^2$) volt a legnagyobb levélfelülete. A 3H, 4H és a 4H(4D) levélfelülete az Mv9 kr1 búza szülőhöz volt hasonló. A 2H és a 7H vonal levelei keskenyebbek, míg a 6HS addícióé szélesebb volt, mint az Mv9 kr1 szülőé. A 3H, 6HS, 7H and 7D-5HS vonalaknak az őszi búza szülőhöz hasonlóan sötétzöld, erősen viaszolt levelei vannak, míg a 2H, 4H, és 6H vonalaknak világoszöld, gyengén viaszoltak a levelei (11. táblázat; 12. ábra).

**10. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek növénymagassága, kalászhossza és zászlóslevél felülete, szabadföldi kísérletekben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | Növénymagasság, cm | | Kalászhossz, cm | | Levélfelület, $mm^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 68,60 cde | 89,62 d | 10,39 h | 11,50 i | 2135,50 g | 3420,75 g |
| **3H** | 53,49 a | 76,54 a | 7,02 de | 9,25 e | 1569,00 ef | 3395,25 g |
| **3HS.3BL** | 103,27 g | 116,08 f | 6,73 cd | 8,09 c | 1389,25 de | 2057,75 b |
| **4H** | 54,20 a | 76,51 a | 8,56 f | 9,57 fg | 1894,50 fg | 2993,75 efg |
| **4H(4D)** | 66,82 cd | 80,79 b | 4,70 a | 5,95 a | 1880,00 fg | 2660,50 def |
| **6B-4H** | 84,98 f | 107,28 e | 6,31 c | 7,61 b | 1122,00 bcd | 2688,25 def |
| **6H** | 66,24 bc | 80,54 b | 7,31 e | 8,77 d | 1590,75 ef | 2585,00 cde |
| **6HS** | 63,67 b | 74,02 a | 8,28 f | 9,80 g | 2120,75 g | 2998,50 efg |
| **7D-5HS** | 66,18 bc | 76,79 a | 7,43 e | 8,71 d | 848,25 ab | 2358,00 bcd |
| **7H** | 55,01 a | 81,06 b | 8,37 f | 8,80 d | 1009,50 abc | 2149,75 bc |
| **Betzes** | 65,95 bc | 84,29 c | 8,46 f | 9,31 ef | - | - |
| **Ch. S.** | 66,98 cd | - | 5,51 b | - | 1265,25 cde | - |
| **Igri** | 70,49 e | 86,19 c | 9,33 g | 8,18 c | 707,25 a | 789,75 a |
| **Mv9 kr1** | 69,17 de | 85,21 c | 9,32 g | 10,36 h | 1622,75 ef | 3103,00 fg |
| **Átlag** | 65,35 | 81,20 | 8,10 | 9,18 | 1262,29 | 2272,55 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

**12. ábra:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek 2012. 04.26.-án, szabadföldi kísérletben, Keszthelyen. 1=4H(4D) szubsztitúció; 2=2H, 3= 3H, 4=4H, 5=6HS addíció; 6=3BL.3HS, 7= 7H, 8=6B-4H, 9=7D-5HS transzlokáció; 10= 6H addíció, 11=Mv9kr1 búza; 12=Igri árpa, 13=Chiense Spring búza, 14=Betzes árpa. Saját felvétel.

A növénymagasság tekintetében a 6HS és a 3H volt a legalacsonyabb (10. táblázat). A 3HS.3BL, 6B-4H és a 2H kivételével a vizsgált búza-árpa introgressziós vonalak alacsonyabbak voltak az Mv9 kr1 búza szülőnél mindkét évben. A 3HS.3BL és a 4H(4D) kivételével az introgressziós vonalak kalászai az Mv9 kr1 búza szülőhöz hasonlóan rövid szálkacsonkkal rendelkeztek (11. táblázat; 13. ábra). A 4H és a 7D-5HS kalászalakja hasonlított az Mv9 kr1 búza szülőéhez.

**11. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak egyes morfológiai tulajdonságainak leírása.

| Genotípus | Morfológiai tulajdonság |
|---|---|
| 2H addíció | vékony, világoszöld, gyengén viaszolt levél, antociános fülecske, laza kalász, hosszú és vékony szem |
| 3H addíció | sötétzöld, erősen viaszolt levél, tojásfehér fülecske és nyelvecske bunkós, rövid kalász |
| 4H addíció | világoszöld, gyengén viaszolt levél, fülecske és nyelvecske zöldes, félig bunkós kalász |
| 6HS addíció | széles, sötétzöld, erősen viaszolt levél, fülecske és nyelvecske zöldes, felfele keskenyedő, laza kalász |
| 7H addíció | vékony, sötétzöld, erősen viaszolt levél, fülecske és nyelvecske antociános, vékony kalász |
| 7D-5HS transzlokáció | keskeny, sötétzöld, erősen viaszolt levél, fülecske és nyelvecske sárgás, felfele keskenyedő kalász |
| 6H addíció | világoszöld, gyengén viaszolt levél, fülecske és nyelvecske fehér, felfele keskenyedő, laza kalász |
| 4H(4D) szubsztitúció | világoszöld, gyengén viaszolt levél, felfele szélesedő, fülecske és nyelvecske sárgás, rövid, tar kalász |
| 3BL.3HS transzlokáció | sötétzöld, gyengén viaszolt levél, fülecske és nyelvecske sárgás, felfele szélesedő, tar kalász |
| 6B-4H transzlokáció | vékony, világoszöld, gyengén viaszolt levél, fülecske és nyelvecske sárgás, felfelé keskenyedő kalász |

**13. ábra:** Mv9 kr1 × Igri introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő kalász, kalászka és kalászorsó alakja. A 4H addíciós vonal kalászkáján jól látható a normál kalászkán ülő plusz kalászka (2012, Keszthely). Saját felvétel.

A búza-árpa vonalak főkalásza szignifikánsan rövidebb volt az Mv9 kr1 búza szülőénél. Kivételt képez a 2H addíció, amelynek főkalásza szignifikánsan hosszabb volt, azonban ennek a genotípusnak volt a legkisebb kalász tömöttségi értéke (12. táblázat). Az introgressziós vonalak közül a 4H(4D) kalásza volt a legrövidebb, azonban tömöttsége a legnagyobb volt. A 6B-4H transzlokáció esetében három különböző kalászalak volt megfigyelhető: a legnagyobb arányban (63 %) rövid szálkacsonkos alak, hosszú szálkás alak (27 %) és tar kalász (10 %), amelyek egyéb tulajdonságaikban (magasság, szemszám, termés) nem különböztek. A citológiai vizsgálat során a különböző kalászalakú növények mindegyikét 6B-4H transzlokációként azonosítottuk. A jelenség magyarázatára további részletesebb vizsgálatokra lenne szükség (14. ábra).

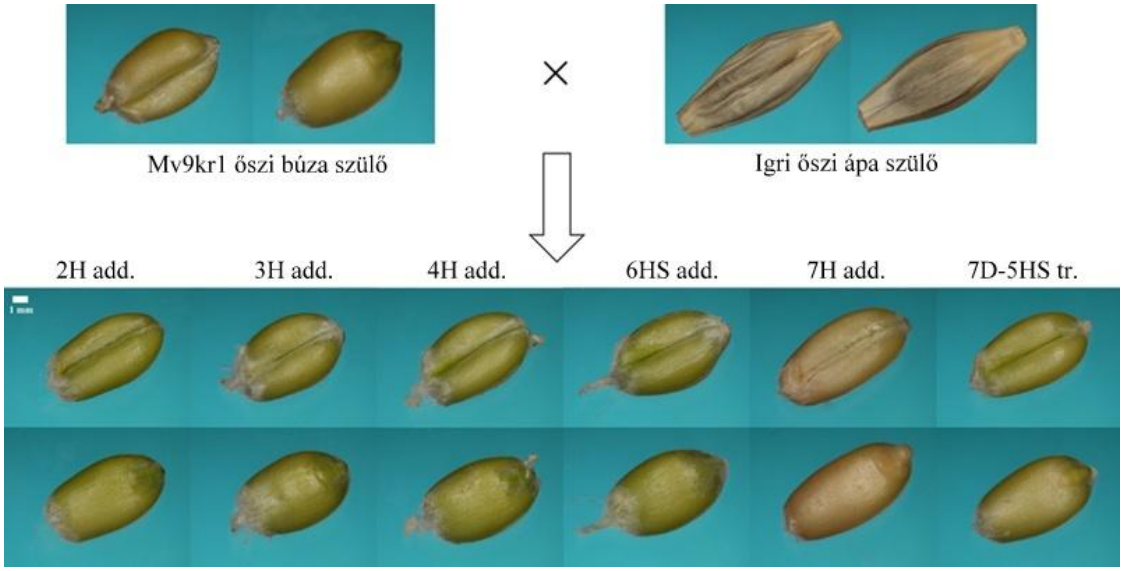
**12. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek ezerszemtömege (ESZT), fertilitása és kalásztömöttsége, szabadföldi kísérletben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | ESZT, g | | Fertilitás (szem / kalászka), db | Tömöttség | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 34,03 bc | 34,53 c | 2,68 f | 19,50 a | 17,01 a |
| **3H** | 40,93 f | 35,08 c | 2,54 def | 25,47 de | 20,53 e |
| **3HS.3BL** | 41,77 fg | 38,34 d | 3,49 g | 27,41 f | 22,68 f |
| **4H** | 34,66 cd | 31,74 b | 3,38 g | 23,09 bc | 20,78 e |
| **4H(4D)** | 36,64 e | 29,60 a | 2,29 abc | 37,15 g | 29,52 g |
| **6B-4H** | 32,46 bc | 32,67 b | 2,20 ab | 25,69 e | 21,03 e |
| **6H** | 36,33 de | 34,31 c | 2,39 bcd | 24,06 c | 17,73 b |
| **6HS** | 38,07 e | 34,22 c | 2,62 ef | 21,96 b | 18,18 bc |
| **7D-5HS** | 41,07 f | 37,36 d | 2,45 cde | 24,16 cd | 18,57 cd |
| **7H** | 42,03 fg | 35,14 c | 2,20 ab | 20,42 a | 18,00 bc |
| **Betzes** | 44,43 h | 41,43 e | - | - | - |
| **Ch. S.** | 22,92 a | -- | 2,11 a | 25,70 e | - |
| **Igri** | 53,07 i | 52,72 f | - | - | - |
| **Mv9 kr1** | 43,20 gh | 42,33 e | 2,69 f | 22,75 bc | 18,96 d |
| **Átlag** | 40,69 | 40,53 | 2,41 | 23,00 | 18,43 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

**14. ábra:** 6B-4H transzlokációs vonal három különböző kalász megjelenése. A leggyakrabban előforduló forma a szálkacsonkos kalász. Saját felvétel.

A szemek morfológiáját tekintve a 2H addíciós vonal kicsi, keskeny szemekkel rendelkezik, kis ezerszemtömeggel, míg a 7H és a 7D-5HS vonalaknak is keskeny szeme van, azonban nagy az ezerszemtömege (12. táblázat; 15. ábra). A többi vonal szemalakja az Mv9 kr1 búza szülőével megegyező.




**15. ábra:** Mv9 kr1 × Igri introgressziós vonalak és a szülőpartnerek szemalakja sztereo mikroszkóp 8-as nagyításában (2011, Keszthely). Fotó: Dr. Pintér Csaba.

**Termés és terméselemek**

Az introgressziós vonalak közül a 7H és a 6B-4H fertilitása (szem/kalászka) volt a leggyengébb (13. táblázat), míg a 3HS.3BL és a 4H vonalé a legjobb. A 4H addíciónál – a tenyészedényes vizsgálatokhoz hasonlóan - tapasztaltunk abnormális számfeletti kalászka (SS) képződést (13. ábra). A normál kalászkákon ülő többlet kalászkák (MSS) a kalász felső harmadában voltak leginkább megtalálhatóak. Az ilyen kalászú növények előfordulása átlagosan 3 %, egy plusz kalászkában 0-3 db kisebb szem található, ami okozhatta az alacsonyabb ezerszemtömeget.

A búza-árpa introgressziós vonalak produktív bokrosodása az Mv9 kr1 őszi búza szülőhöz hasonlóan alakult, kivéve a 3H és 7H addíciós vonalat, amelyek szignifikánsan több kalászt hoztak (13. táblázat). A 3H – feltehetően a jó bokrosodó képességének köszönhetően – adta a legtöbb növényenkénti szemszámot és termést is, míg a 7H gyenge fertilitása miatt a legkevesebb szemszámot és kis termést. A 3HS.3BL transzlokáció szintén jó bokrosodó képességgel rendelkezett, és a második legtöbb termést adta a vonalak között. A 6B-4H transzlokáció 2011-ben a legkevesebb, míg 2012-ben a második legkevesebb termést adta, amely a kevés szemszámból és alacsony ezerszemtömegből adódhatott.

**13. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek növényenkénti kalászszáma, szemszáma és termése, szabadföldi kísérletekben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | Kalász / növény, db | | Szem / növény, db | | Termés / növény, g | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| **2H** | 6,20 e | 4,13 abc | 217,50 e | 140,37 bc | 6,98 ef | 4,79 bc |
| **3H** | 7,60 f | 5,63 d | 284,50 f | 195,30 e | 10,75 g | 6,91 d |
| **3HS.3BL** | 5,00 cde | 5,13 cd | 183,90 d | 183,77 de | 7,61 f | 6,90 d |
| **4H** | 3,60 bc | 3,13 a | 165,10 cd | 98,77 a | 5,69 de | 3,05 a |
| **4H(4D)** | 4,90 cde | 5,70 d | 130,30 c | 152,07 cd | 4,74 cd | 4,49 abc |
| **6B-4H** | 3,40 b | 4,13 abc | 95,70 b | 106,87 ab | 2,99 b | 3,51 ab |
| **6H** | 3,40 b | 4,67 bcd | 92,30 b | 111,67 ab | 3,38 bc | 3,80 ab |
| **6HS** | 3,80 bc | 3,77 abc | 146,50 c | 111,33 ab | 3,71 bc | 3,60 ab |
| **7D-5HS** | 4,10 bcd | 4,64 bcd | 150,50 cd | 135,29 bc | 5,17 d | 5,02 bc |
| **7H** | 5,40 de | 5,50 d | 73,10 b | 109,87 ab | 3,46 bc | 3,88 ab |
| **Betzes** | 4,00 bcd | 11,67 f | 80,80 b | 256,50 f | 3,64 bc | 10,32 e |
| **Ch. S.** | 1,70 a | - | 31,80 a | - | 0,71 a | - |
| **Igri** | 11,40 g | 9,10 e | 279,20 f | 203,20 e | 14,89 h | 10,81 e |
| **Mv9 kr1** | 3,90 bc | 4,00 abc | 144,20 c | 139,93 bc | 5,96 de | 5,79 cd |
| **Átlag** | 4,90 | 6,42 | 148,24 | 158,29 | 5,36 | 6,53 |

A különböző betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbséget jelzik P <0,05 szinten, Duncan teszt alapján.
Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

A növényenkénti szemszám és a termés a két évjáratban eltérő nagyságrendet mutatott. 2012-ben a virágzás időszakában erős éjszakai lehűlések voltak, amelynek következtében – a

kedvezőbb csapadékmennyiség ellenére - az introgressziós vonalak (kivéve 6B-4H, 6H és 7H), és az Mv9 kr1 őszi búza szemszáma és termése alacsonyabb lett, mint 2011-ben. A májusi fagyok hatását szabad szemmel megfigyelhettük, a magasabb növények kalászain fekete elszíneződés volt látható. A 4H addíciós vonal reagált a legérzékenyebben a virágzás ideje alatti éjszakai lehűlésre.

### 5.1.4 Búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálásának összegző értékelése

A búza-árpa introgressziós vonalak fenotipizálása során információt kaptunk az egyes árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatásáról a búza fontosabb morfológiai és agronómiai tulajdonságaira. Az addíciós vonalak virágzási idejében tapasztalt különbségek megegyeznek Farkas és mtsai. (2014) megfigyeléseivel. Az árpa rövidebb tenyészidejű, ezért előbb érik, mint a búza (Yasuda 1989), ennek ellenére, a vizsgált vonalak virágzási- és az érés ideje nem került előrébb, kivéve a 7H addíciót. Kawahara és mtsai. (2002) leírták az 5H kromoszóma koraiságban játszott szerepét. A teljes 5H kromoszóma a visszakeresztezések során eliminálódott (Molnár-Láng és mtsai. 2005; Szakács és Molnár-Láng 2010), ezért az 5H kromoszóma hiányzik a vizsgált Mv9 kr1 × Igri addíciós sorozatból. A 7D-5HS transzlokáció virágzása és érésideje nem volt korábbi, mint az őszi búza szülőé, ami azzal magyarázható, hogy a koraiságot szabályzó gén az 5HL kromoszómán lehet. A 7H kromoszóma jelenléte azonban korábbi virágzást eredményezett. Több vizsgálat szerint a koraiságért a *Vrn-H3* (early flowering) gén felel az árpában, ami a 7H kromoszóma rövid karján helyezkedik el (Yan és mtsai. 2006; Faure és mtsai. 2007). A *Vrn-H3* addíciója a búza *Vrn3* génkészletéhez vélhetően a növény fejlődését gyorsítja (Farkas és mtsai. 2014), ami magyarázza a 7H addíciós vonal koraiságát.

A zászlóslevél fotoszintetikus tevékenysége kiemelkedően fontos szerepet tölt be a kalászonkénti szemszám, az ezerszemtömeg, és így a termésmennyiség kialakulásában, ezért jelentős befolyással van a termés mennyiségére (Mahmood és Chowdhry 1997; Katsileros és mtsai. 2002.; Birsin 2005). A búza esetében a levélfelület alakulását leginkább a levélhossz befolyásolja (Dale 1988). Xue és mtsai. (2008) a zászlóslevél hosszát befolyásoló QTL-eket talált az 5H és a 7H kromoszómán. Az általunk vizsgált genotípusok a zászlóslevél felületének mérésekor nem tapasztaltuk a 7H és az 5HS kromoszómák levélhossz növelő hatását.

A transzlokációs vonalak megjelenésében jól látható a Chinese Spring tavaszi búza szülő hatása, pl. a 3HS.3BL és a 6B-4H magasságára, ill. a 3HS.3BL és a 4H(4D) kalászalakjára. A Chinese Spring habitusának megjelenését a vonalakban – különösen a 3H kromoszóma esetében - Islam és mtsai. (1981) az általuk előállított búza-árpa hibrideknél is leírta.

A 4H addíció esetében mind a tenyészedényes, mind a szabadföldi vizsgálatokban tapasztalt többlet kalászka (SS) gyakori előfordulását Islam és mtsai. (1981) szintén megfigyelték. A többlet kalászkák hasznosságáról eltérő vélemények találhatóak az irodalomban. Egyes tanulmányok szerint ilyen módon növelni lehetne a kalászonkénti szemszámot, így a termést, és a többlet kalászkát okozó géneket felhasználásával olyan vonalakat lehetne létrehozni, amelyekre fokozottan jellemző az SS kalászok jelenléte (Yen 1965; Koric 1966; Huang és C. Yen 1988; Frederic és Bauer 2000).

A 7H addíciós vonal fertilitása volt a leggyengébb mind a tenyészedényes, mind a szabadföldi vizsgálatokban, azonban eltérő mértékben. Szabadföldi körülmények között a főkalászokban átlagosan 30-33 szemet számoltunk, míg az üvegházban nevelt növények esetében 7-10 szemet. A 7H kromoszóma termésképződésre gyakorolt kedvezőtlen hatását Islam és mtsai. (1981), továbbá Szakács és Molnár-Láng (2010) is leírta (16. ábra).

A vizsgálatok eredményei rámutattak arra, hogy a létrehozott introgressziós vonalak agronómiai teljesítményét nem szabad csupán tenyészedényes vizsgálatok alapján értékelni. Jó példa erre, hogy a 3H addíciós vonal erős bokrosodó képessége csak szabadföldi kísérletekben volt igazán látható.

**16. ábra:** Mv9 kr1 × Igri 7H addíciós vonal főkalászai szabadföld kísérletben (A) 30-33 db szemet, míg tenyészedényes kísérletben (B) csupán 7-10 db „óriás” szemet érlelt be, amelyek szétnyomták a pelyvaleveleket. Saját felvétel.

## 5.2 Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata

### 5.2.1 Búza-árpa addíciós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata tenyészedényes kísérletben, Martonvásáron

Az Mv9 kr1 × Igri keresztezésből származó addíciós vonalak differenciált vízellátását a szárbaszökés elején kezdtük meg. A kontroll növények a szántóföldi vízkapacitás 60 %-ig öntözve, átlagosan 3547 ml öntözővizet kaptak, a vízhiányos kezelésben pedig a szántóföldi vízkapacitás 30 %-áig öntöztünk, átlagosan 2360 ml-et (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Az Mv9 kr1 búza szülőnél nagyobb vízigénye volt a 4H, 3H és 2H vonalnak. A legkisebb vízigénye a 7H vonalnak volt.

**14. táblázat:** A kontroll és a vízhiányos kezelésben kijutatott öntözővíz mennyisége.

| Genotípus | Öntözővíz mennyisége, ml | |
|---|---|---|
| | kontroll | stressz |
| 2H | 3677 | 2370 |
| 3H | 3705 | 2519 |
| 4H | 4017 | 2813 |
| 6HS | 3104 | 2076 |
| 7H | 3031 | 1828 |
| Mv9 kr1 | 3222 | 2185 |
| Igri | 4076 | 2726 |

**Virágzás és érés ideje**

A szárbainduláskor megkezdett vízmegvonás hatására a vizsgált genotípusok korábban léptek a generatív szakaszba. A vízhiány hatására a stresszkezelt növények átlagosan négy nappal korábban virágoztak a kontroll növényekhez képest (15. táblázat). Ez a különbség az érés idejére növekedett, a szemtelítődés ideje átlagosan 7 nappal rövidült. Az Igri szülővel egy időben a 7H addíció virágzott a legkorábban, míg a többi addíciós vonal az Mv9 kr1 szülőnél is később virágzott mindkét kezelésben. A vízhiány a legkésőbbi 4H addíciós vonal virágzási és érési idejére volt a legnagyobb hatással. A korai 7H és a késői 4H addíciós vonal virágzási idejében a kontrollkezelésben 31 nap, a stresszelt állományban 23 nap különbséget tapasztaltunk. A szemtelítődés ideje az Igri árpa szülő és az Mv9 kr1 búza szülő esetében 4 nappal csökkent a vízhiány hatására. A vizsgált addíciós vonalak szemtelítődési idejére

erősebb hatást gyakorolt a stresszkezelés: a 2H vonal szemtelítődési ideje csökkent a legkevésbé, a 3H, 4H, 6HS, 7H vonalak szemtelítődése 9 nappal rövidült.

**15. táblázat:** Vízhiány hatása az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak és a szülőpartnerek virágzás-, érés- és szemtelítődési idejére, tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár).

| Genotípus | Virágzási (50%) idő, nap Z65 | | Szemtelítődés, nap Z71-92 | | Érésidő, nap Z92 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2H** | 144 | 141* | 36 | 30 | 182 | 173** |
| **3H** | 143 | 139** | 39 | 30 | 184 | 170** |
| **4H** | 162 | 151** | 36 | 27 | 201 | 182** |
| **6HS** | 139 | 136** | 36 | 27 | 178 | 165** |
| **7H** | 131 | 128** | 39 | 33 | 172 | 166** |
| **Mv9 kr1** | 138 | 134** | 39 | 35 | 180 | 172** |
| **Igri** | 131 | 128** | 39 | 35 | 172 | 166** |
| **Átlag** | 141,19 | 136,70 | 38 | 31 | 181 | 171 |
| **Különbség (%)** | -3,18 | | -18,26 | | -5,97 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

Z: a fejlődési stádiumok Zadoks skála szerinti besorolása (a virágzás- és érésidő a csíráztatástól eltelt idő, napokban).

### Hajtás- és gyökértömeg alakulása

A vízhiányra bekövetkező növekedésgátlás már a vízmegvonást követő 3. héten megfigyelhető volt a vizsgált genotípusok többségén (16. táblázat). A vízmegvonásra az Mv9 kr1 búza szülő hajtástömege csökkent a legnagyobb mértékben (25 %-kal), míg az Igri árpa szülőé csupán 11 %-kal. Az búza-árpa addíciók hajtástömege a 2H kivételével a szülő vonalaknál kevésbé, illetve nem csökkent (3H, 4H, 6HS). A vízmegvonást követő 6. és 12 héten a 4H kivételével mindegyik genotípus hajtástömege csökkent, a legnagyobb mértékben a 3H vonalé (35 % és 38 %).

A búza szülő gyökértömege is jelentősen (75 %-kal) csökkent a vízmegvonást követő 3. hétre (16. táblázat). Az Igri árpa szülő gyökértömege kezdetben csökkent, azonban a 12. hétre növekedést mutatott a stresszelt növények gyökértömege a kontrollhoz képest. Hasonló tendencia volt megfigyelhető a 7H vonal esetében. Az addíciós vonalak közül 4H és a 2H gyökértömege nőtt. A 2H gyökértömeg növelő hatása csak a stressz korai szakaszában volt megfigyelhető. A későbbi fázisban jelentős volt mind a gyökértömeg mind a hajtástömeg vesztés. Ezzel szemben a 4H stressz kezelt növényeinek gyökértömege mindvégig meghaladta

a kontrollét. A gyökértömeg növekedése okozta a gyökér/hajtás arány növekedését is ennél a vonalnál.

**16. táblázat:** Mv9 kr1 ×Igri addíciós vonalak és a szülőpartnerek hajtástömeg, gyökértömeg és gyökér/hajtás arányának változása a vízmegvonást követő 3.; 6. és 12. héten, tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár).

| Genotípus | Hajtástömeg, g | | | Gyökértömeg, g | | | Gyökér/hajtás arány, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | különbség a kontroll %-ában | kontroll | stressz | különbség a kontroll %-ában | kontroll | stressz | különbség a kontroll %-ában |
| **3. hét** | | | | | | | | | |
| **2H** | 2,26 | 2,00 | 88,38 | 0,90 | 1,13 | 125,48 | 39,56 | 56,72** | 143,38 |
| **3H** | 2,43 | 2,58 | 105,86 | 2,19 | 2,11 | 96,34 | 90,11 | 82,58 | 91,64 |
| **4H** | 1,33 | 1,51 | 112,95 | 1,85 | 2,41 | 130,41 | 133,88 | 162,35 | 121,27 |
| **6HS** | 2,70 | 2,69 | 99,91 | 1,64 | 1,50 | 91,31 | 60,82 | 55,61** | 91,44 |
| **7H** | 2,69 | 2,42 | 89,78 | 1,29 | 1,13* | 87,23 | 48,11 | 46,93 | 97,55 |
| **Mv9 kr1** | 3,38 | 2,54* | 75,00 | 1,84 | 1,02** | 55,31 | 54,39 | 40,13** | 73,77 |
| **Igri** | 3,35 | 2,97 | 88,67 | 2,88 | 2,50 | 86,96 | 85,20 | 84,47 | 99,14 |
| **Átlag** | 2,59 | 2,39 | 94,36 | 1,80 | 1,69 | 96,15 | 73,15 | 75,54 | 102,60 |
| **6. hét** | | | | | | | | | |
| **2H** | 4,71 | 3,28* | 69,50 | 1,26 | 0,81** | 64,14 | 26,69 | 24,71 | 92,59 |
| **3H** | 4,93 | 3,12* | 63,35 | 2,43 | 1,58** | 65,12 | 49,73 | 50,80 | 102,15 |
| **4H** | 3,66 | 3,48 | 95,28 | 3,38 | 3,34 | 98,60 | 92,81 | 95,80 | 103,22 |
| **6HS** | 3,73 | 3,48 | 93,42 | 1,91 | 1,56** | 81,52 | 51,24 | 44,80* | 87,44 |
| **7H** | 2,52 | 2,33 | 92,27 | 0,96 | 1,12 | 116,36 | 38,12 | 48,14** | 126,29 |
| **Mv9 kr1** | 3,96 | 3,49** | 88,06 | 0,91 | 0,88 | 96,96 | 22,87 | 25,18** | 110,11 |
| **Igri** | 5,88 | 5,09 | 86,56 | 3,90 | 3,69 | 94,62 | 66,08 | 72,581* | 109,83 |
| **Átlag** | 4,20 | 3,47 | 84,06 | 2,11 | 1,85 | 88,19 | 49,65 | 51,72 | 104,52 |
| **12. hét** | | | | | | | | | |
| **2H** | 5,32 | 3,19* | 59,96 | 1,62 | 0,96* | 59,41 | 30,41 | 30,16 | 99,18 |
| **3H** | 5,72 | 3,36** | 58,77 | 3,53 | 2,21* | 62,55 | 61,31 | 65,79 | 107,30 |
| **4H** | 4,88 | 4,99 | 102,38 | 2,45 | 2,78 | 113,80 | 50,43 | 55,36 | 109,76 |
| **6HS** | 4,37 | 3,21** | 73,38 | 1,35 | 1,32 | 97,77 | 30,84 | 41,03** | 133,06 |
| **7H** | 3,70 | 2,90 | 78,33 | 0,92 | 1,28 | 139,62 | 25,21 | 43,70* | 173,34 |
| **Mv9 kr1** | 6,19 | 4,07** | 65,79 | 1,40 | 1,05** | 75,45 | 22,52 | 25,85** | 114,78 |
| **Igri** | 7,18 | 5,70* | 79,35 | 4,24 | 4,91** | 115,94 | 59,05 | 86,97** | 147,30 |
| **Átlag** | 5,34 | 3,92 | 73,99 | 2,21 | 2,07 | 94,93 | 39,97 | 49,84 | 126,39 |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

## Növénymagasság, kalászhossz

A vizsgált növények magassága a vízhiány hatására átlagosan 11 %-kal csökkent (17. táblázat/A). Normál vízellátás mellett a 2H vonal szignifikánsan magasabb, a 3H és a 6HS vonal szignifikánsan alacsonyabb volt az Mv9kr1 búza szülőnél. Azonban a csökkentett vízellátás következtében a 2H vonal és a búza szülő magassága között nem kaptunk igazolt

különbséget. A búza-árpa addíciós vonalak közül a legalacsonyabb növény a 3H, a legmagasabb a 2H volt mindkét kezelésben. A kalászhossz tekintetében a 2H és 3H vonal, valamint az Mv9kr1 a növénymagasságnál tapasztaltak szerint viselkedett. A növények főkalászainak-hossza a vízmegvonás következtében átlagosan 6,2 %-kal csökkent. Az Mv9kr1 búza szülő főkalásza 3,8 %-kal lett rövidebb. Az addíciós vonalak közül a 3H, 4H és a 6HS kalásza szignifikánsan nem különbözött a búza szülőétől. A 2H és 7H addíciós vonal főkalásza rövidült a legnagyobb mértékben a vízhiány hatására. A stressz hatásra a 7H vonal kalászainál abnormális kalászka képződést tapasztaltunk, un. füzéres kalászkák képződését (17. ábra).

**17. ábra:** Mv9 kr1 × Igri 7H addíciós vonal kalásza a vízhiány hatására un. füzéres kalászkák képzésével reagált tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár). Saját felvétel.

**Produktív bokrosodás**

A vizsgált növények közül a 2H, 7H és az Mv9 kr1 növényenkénti kalászszáma (produktív bokrosodás) mutatott szignifikáns különbséget a kezelés hatására (17. táblázat/A). Az Mv9 kr1 búza szülő beérett kalászainak száma 24,8 %-kal csökkent a vízmegvonás hatására. A legkevesebb kalásza a 4H addíciós vonalnak volt mindkét kezelésben. A legerőteljesebben a 7H kalászszáma csökkent (49,9 %-kal), de még így sem különbözött a búza szülőétől.

**17. táblázat:** Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak és a szülőpartnerek morfológiai és agronómiai tulajdonságainak összehasonlítása a kontroll és a vízhiányos kezelésben, tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár).

A)

| Genotípus | Növénymagasság, cm | | Kalászhossz, cm | | Kalász/növény, db | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2H** | 71,44 | 59,89* | 11,52 | 10,41** | 2,67 | 2,00** |
| **3H** | 46,56 | 38,33* | 9,44 | 9,34 | 2,00 | 1,67 |
| **4H** | 57,11 | 53,78 | 10,57 | 10,21 | 1,44 | 1,33 |
| **6HS** | 49,67 | 47,33 | 10,13 | 9,90 | 1,78 | 1,78 |
| **7H** | 59,00 | 54,67 | 9,69 | 8,94* | 3,33 | 1,67** |
| **Mv9 kr1** | 61,89 | 58,78 | 10,21 | 9,82 | 2,22 | 1,67* |
| **Igri** | 62,22 | 49,56** | 8,76 | 7,34** | 3,78 | 3,44 |
| **Átlag** | 58,27 | 51,76 | 10,05 | 9,43 | 2,46 | 1,94 |
| **Különbség (%)** | 11,17 | | 6,22 | | 21,29 | |

B)

| Genotípus | Szem/főkalász, db | | Termés/növény, g | | ESZT | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2H** | 33,22 | 21,56* | 2,35 | 0,86 ** | 38,45 | 37,93 |
| **3H** | 41,11 | 17,44** | 2,39 | 0,84** | 38,91 | 42,50** |
| **4H** | 65,11 | 46,11** | 2,42 | 2,02 | 34,96 | 36,60** |
| **6HS** | 46,22 | 33,22** | 2,61 | 1,72** | 36,71 | 39,48* |
| **7H** | 9,56 | 7,11 | 0,64 | 0,36 | 46,70 | 43,63** |
| **Mv9 kr1** | 39,11 | 38,78 | 3,36 | 2,13** | 42,46 | 42,60 |
| **Igri** | 21,44 | 16,89** | 3,42 | 2,38** | 49,47 | 49,94 |
| **Átlag** | 36,54 | 25,87 | 2,45 | 1,47 | 41,09 | 41,81 |
| **Különbség (%)** | 29,19 | | 42,05 | | 1,74 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

## Termés és a terméselemek változása

A vizsgált addíciós vonalak és a búza szülőpartner termése átlagosan 42 %-kal lett kevesebb (17. táblázat/B) a stressz kezelés hatására. A vízhiány következtében az Mv9 kr1 búza szülő termése 36 %-kal, míg az Igri árpa szülő termése 30 %-kal csökkent. A 4H vonal termése csökkent a legkevésbé (17 %-kal), a legnagyobb termésveszteséget a 3H addíciónál (65 %-kal) mértük. A vízhiányos kezelésben a 2H kivételével mindegyik genotípusnál a kontroll értéket meghaladó ezerszemtömeget mértünk. Ennek lehetséges magyarázata: a korai vízhiány hatására kisebb lett a szemszám, a rendelkezésre álló források a kevesebb szem számára kedvezőbb fejlődést tettek lehetővé.

A hajtástömeg és a termés között erős, szignifikáns kapcsolat, a gyökértömeg és a termés között pozitív, közepesen erős kapcsolat volt mindkét kezelésben (18. táblázat), míg a hajtástömeg és a gyökér között pozitív, erős korreláció volt.

**18. táblázat:** Búza-árpa addíciós vonalak és a szülőpartnerek növényenkénti termése, hajtástömege és a gyökértömeg közötti korrelációs koefficiens értékei, a kontroll és a stressz kezelésben, tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár).

| | Kezelés | Termés/növény | Hajtástömeg |
|---|---|---|---|
| **Hajtástömeg** | kontroll | 0,911** | |
| | stressz | 0,877** | |
| **Gyökértömeg** | kontroll | 0,494 | 0,724 |
| | stressz | 0,541 | 0,779* |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns P < 0,05; 0,01 szinten.

A búza-árpa addíciós vonalak szárazságtolerancia index érétkei a 19. táblázatban láthatók. Az STI, MP, GMP és YI indikátorok esetében az Igri árpa szülő bizonyult a leginkább szárazságtűrőnek, majd az Mv9 kr1 búza szülő követte a rangsorban. Az addíciók közül a legmagasabb értéket a 4H adta, ami jó szárazság toleranciára utal, míg a legalacsonyabb értékekkel a 7H genotípus volt a szárazságra leginkább érzékeny. Az SSI és a YSI rangsorrendje megegyezik a genotípusok között. Az addíciók közül a 4H értékei a legalacsonyabbak (toleráns), míg a 3H vonal értékei a legmagasabbak (intoleráns).

**19. táblázat:** Búza-árpa addíciós vonalak termésátlaga kontroll és vízhiányos kezelésekben, valamint a szárazság tolerancia/rezisztencia indexek értékei tenyészedényes kísérletben (2012, Martonvásár).

| Genotípus | Yp | Ys | SSI | STI | TOL | MP | HM | GMP | YSI | YI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2H** | 2,35 | 0,86 | 1,58 | 0,34 | 1,49 | 1,61 | 1,26 | 1,42 | 0,37 | 0,58 |
| **3H** | 2,39 | 0,84 | 1,62 | 0,33 | 1,55 | 1,62 | 1,24 | 1,42 | 0,35 | 0,57 |
| **4H** | 2,42 | 2,02 | 0,41 | 0,81 | 0,40 | 2,22 | 2,20 | 2,21 | 0,83 | 1,37 |
| **6HS** | 2,61 | 1,72 | 0,85 | 0,75 | 0,89 | 2,17 | 2,07 | 2,12 | 0,66 | 1,17 |
| **7H** | 0,64 | 0,36 | 1,09 | 0,04 | 0,28 | 0,50 | 0,46 | 0,48 | 0,56 | 0,24 |
| **Mv9 kr1** | 3,36 | 2,13 | 0,91 | 1,19 | 1,23 | 2,75 | 2,61 | 2,68 | 0,63 | 1,45 |
| **Igri** | 3,42 | 2,38 | 0,76 | 1,35 | 1,04 | 2,90 | 2,81 | 2,85 | 0,70 | 1,62 |
| **2H** | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| **3H** | 5 | 6 | 7 | 6 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| **4H** | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 |
| **6HS** | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| **7H** | 7 | 7 | 5 | 7 | 1 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 |
| **Mv9 kr1** | 2 | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| **Igri** | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |

Yp: kontroll termés; Ys: stressz termés; SSI: stressz érzékenységi index; STI: stressz tolerancia index; TOL: tolerancia; MP: átlagos termékenység; HM: harmonikus átlag; GMP: geometrikus átlagos termékenység; YSI: termés stabilitási index; YI: termés index.

### 5.2.2. A 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL búza-árpa vonalak gyökérzetének és szárazságtűrésének vizsgálata „homokcsöves” kísérletben, Keszthelyen

**Virágzás és érés ideje**

A vizsgált genotípusok virágzási és érési idejében 7 és 5 nap különbség volt (20. táblázat). A legkorábban a 3HS.3BL transzlokáció virágzott, az Mv9 kr1 búza szülőhöz képest 3 nappal korábban, míg a legkésőbbi a 4H addíciós vonal volt. A szárbaszökés elején megkezdett vízmegvonás hatására átlagosan 5 nappal korábban virágoztak és értek be a növények.

**20. táblázat**: Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő virágzási-, érési-, és szemtelítődési ideje, tenyészedényes kísérletben (2013, Keszthely).

| Genotípus | Virágzási idő, nap Z65 | | Érésidő, nap Z92 | | Szemtelítődés, nap Z71-92 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **Mv9kr1** | 123,0 | 119,3 | 167,7 | 164,0* | 45,3 | 42,3* |
| **4H** | 126,7 | 121,3 | 170,3 | 165,0** | 45,7 | 40,0** |
| **4H(4D)** | 125,0 | 118,0 | 170,3 | 163,3 | 44,0 | 42,0 |
| **3HS.3BL** | 120,0 | 115,33* | 165,0 | 161,0** | 45,7 | 43,3 |
| **Átlag** | 123,67 | 118,50 | 168,33 | 163,33 | 45,17 | 41,92 |
| **Különbség, %** | -4,180 | | -2,99 | | -7,195 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

Z: a fejlődési stádiumok Zadoks skála szerinti besorolása (a virágzás- és érésidő a csíráztatástól eltelt idő, napokban).

**Morfológiai tulajdonságok**

A kontroll kezelésben a korábbi fenológiai vizsgálatok eredményeihez hasonlóan a 3HS.3BL transzlokációs vonal és a 4H(4D) szubsztitúció magasabb volt az Mv9 kr1 búza szülőnél, míg a 4H addíció alacsonyabb (21. táblázat). A vízhiány hatására az Mv9 kr1 búza magassága nem változott. A 4H és 3HS.3BL vonal magassága alig csökkent (3,97 és 9,03 %-kal), míg a 4H(4D) növényei szignifikánsan alacsonyabbak voltak (26,6 %-kal) a kontroll kezeléshez képest.

A kalászhossz alakulása a kontroll kezelésben szintén megegyezik a fenológiai vizsgálatok eredményeivel. A legrövidebb kalásza a 4H(4D) szubsztitúciónak volt, a 4H addíció kalászhossza az Mv9 kr1 szülőhöz hasonlóan alakult (21. táblázat). A vízhiány hatására a búza szülő kalászhossza csökkent a legkevésbé (4,74 %-kal), míg a 4H kalászai a legnagyobb mértékben (14,93 %-kal) rövidültek.

A zászlóslevél felülete mindkét kezelésben az Mv9 kr1 búza esetében volt a legnagyobb (21. táblázat). A kontroll kezelésben a 4H és 4H(4D) vonal zászlóslevél felülete hasonlóan alakult. A vízmegvonás hatására a vizsgált genotípusok mindegyikénél csökkenést tapasztaltunk, a legkevésbé a 4H (36 %), a legnagyobb mértékben pedig a 4H(4D) vonal (60 %) esetében.

**21. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő fenológiai tulajdonságai a kontroll és vízhiányos kezelésben, tenyészedényes kísérletben (2013, Keszthely).

| Genotípus | Növénymagasság, cm | | Kalász / növény, db | | Kalászhossz, cm | | Levélfelület, $mm^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **Mv9kr1** | 52,87 | 52,57 | 5,33 | 3,00* | 8,43 | 8,03 | 2842,67 | 1807,33** |
| **4H** | 48,67 | 46,73 | 5,00 | 3,67 | 8,37 | 7,20** | 2544,00 | 1634,00* |
| **4H(4D)** | 60,10 | 44,13** | 4,00 | 3,00 | 5,37 | 4,67 | 2451,67 | 982,67** |
| **3HS.3BL** | 76,03 | 69,17 | 4,00 | 3,33 | 6,10 | 5,63 | 2021,00 | 1126,67** |
| **Átlag** | 59,42 | 53,15 | 4,58 | 3,25 | 7,07 | 6,38 | 2464,83 | 1387,67 |
| **Különbség, %** | -10,55 | | -0,29 | | -9,72 | | -43,7 | |

Megyjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

## Produktív bokrosodás

A vizsgált növények növényenkénti kalászszáma (produktív bokrosodás) 5,33 db (Mv9 kr1) és 3 db [4H(4D) és 3HS.3BL] között alakult a kontroll kezelésben. A vízhiány hatására mindegyik genotípus kalászszáma csökkent (21. táblázat). Az Mv9kr1 búza szülő esetében csökkent a legnagyobb mértékben 43,75 %-kal, az introgressziós vonalak közül a 4H addíciónak volt a legtöbb kalásza a vizsgált genotípusok közül a stressz kezelésben. A 4H(4D) vízhiányos növények a mellékhajtásai kb. fele olyan magasak voltak, mint a főhajtás (18. ábra).

**18. ábra:** 4H(4D) szubsztitúciós vonal vízhiányos növényén a mellékhajtások fele olyan magasak, mint a főhajtás. Saját felvétel.

**Klorofill tartalom**

A vizsgált vonalak relatív klorofill tartalom értékeit a 22. táblázat tartalmazza. Az Mv9 kr1 búza szülő esetében az első mérési alkalom kivételével a 4H addíció SPAD-értékeit meghaladó klorofill tartalmat mértünk mindkét kezelésben. A legalacsonyabb SPAD-érték a 4H(4D) szubsztitúció adta a 4. és a 6. héten. A 8. héten az Mv9 kr1 búza relatív klorofill tartalma erőteljesen csökkent, ami levelek öregedéséből adódott.

A stresszelt növények SPAD-értéke mindegyik mérési alkalommal alacsonyabbnak bizonyult a kontrollhoz képest. A vízmegvonást követő 4. héten a vizsgált genotípusok klorofill tartalma átlagosan 3,73 %-kal lett alacsonyabb; a legkisebb mértékben az Mv9 kr1 búza (3,56 %), míg

a legnagyobb mértékben a 3HS.3BL vonal esetében (3,91 %). A vízmegvonást követő 6. hétre a kezelések közötti különbség mérséklődött (átlagosan 2,47 %). A SPAD-értékek mérsékelten nőttek, a zászlóslevelek ekkor érhették el a fotoszintetikus tevékenységük csúcspontját. A stressz kezelés 8. hetére átlagosan 5,73 %-kal csökkent a klorofill tartalom, a legkisebb mértékben az Mv9 kr1 búza (2,7 %), míg a legnagyobb mértékben a 4H addíció esetében (9,68 %).

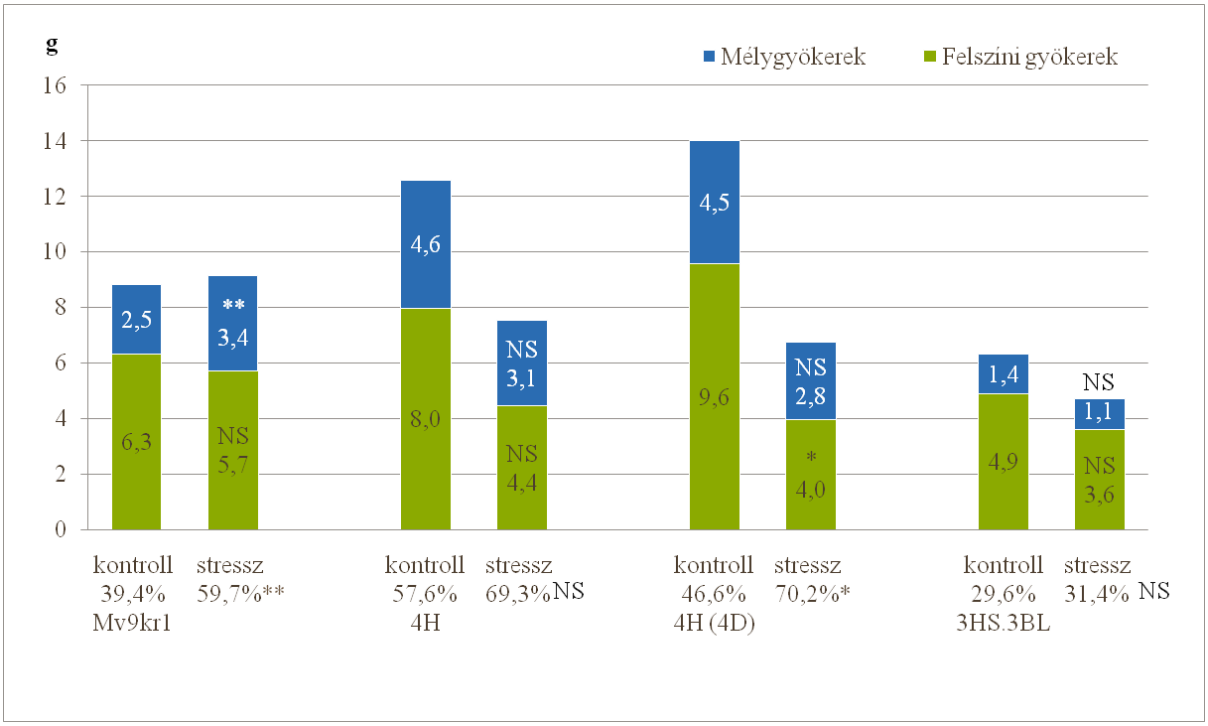
**22. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő zászlóslevelének relatív klorofill tartalma (SPAD-érték) a vízmegvonást követő 4., 6. és 8. héten, tenyészedényes kísérletben (2013, Keszthely).

| Genotípus | Kezelés | SPAD-érték | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 4. hét | 6. hét | 8. hét |
| **Mv9kr1** | kontroll | 55,29 | 54,17 | 47,85 |
| | stressz | 53,32** | 52,12* | 46,56 |
| **4H** | kontroll | 54,73 | 55,36 | 55,45 |
| | stressz | 52,71** | 53,56* | 50,08** |
| **4H(4D)** | kontroll | 49,84 | 50,83 | 50,49 |
| | stressz | 47,96** | 50,12 | 48,69* |
| **3HS.3BL** | kontroll | 54,09 | 51,79 | 51,16 |
| | stressz | 51,97** | 51,05 | 47,59* |

Megyjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Vízmegvonás kezdete: márc. 19.

## Gyökérzet

A kísérlet során alkalmazott úgynevezett „homokcsöves” (sand-tube) módszer (Ehdaie és mtsai. 2012) lehetővé tette, hogy a vizsgált növények gyökerét 75 cm mélységig sértetlenül kinyerjük és vizsgáljuk. A kontroll kezelésben az Mv9 kr1 búza szülő gyökértömege (8,81 g) kisebb volt, mint a 4H (12,58 g) és a 4H(4D) (14,02 g) vonalaké (19. ábra), azonban meghaladta a 3HS.3BL transzlokáció gyökértömegét (6,33 g). Az Mv9 kr1 viszonylag nagy felszíni (0-30 cm) gyökértömeggel, azonban alacsony tömegű mélygyökérzettel (30-75 cm) rendelkezett. A stressz kezelésben azonban az Mv9 kr1 gyökértömege volt a legnagyobb a vizsgált genotípusok közül. A vízhiány hatására az Mv9 kr1 felszíni gyökértömege csökkent (9,38 %-kal), azonban a mélygyökérzet tömege jelentősen (37,4 %-kal) növekedett. Az introgressziós vonalaknál mind a felszíni, mind a mélygyökerek tömege csökkent a vízmegvonás hatására. A 3HS.3BL gyökértömege változott a legkisebb mértékben (-25,47 %), azonban ennek a genotípusnak volt a legkisebb gyökértömege mindkét kezelésben. A 4H(4D) összes gyökértömege csökkent a legnagyobb mértékben (51,87 %-kal).



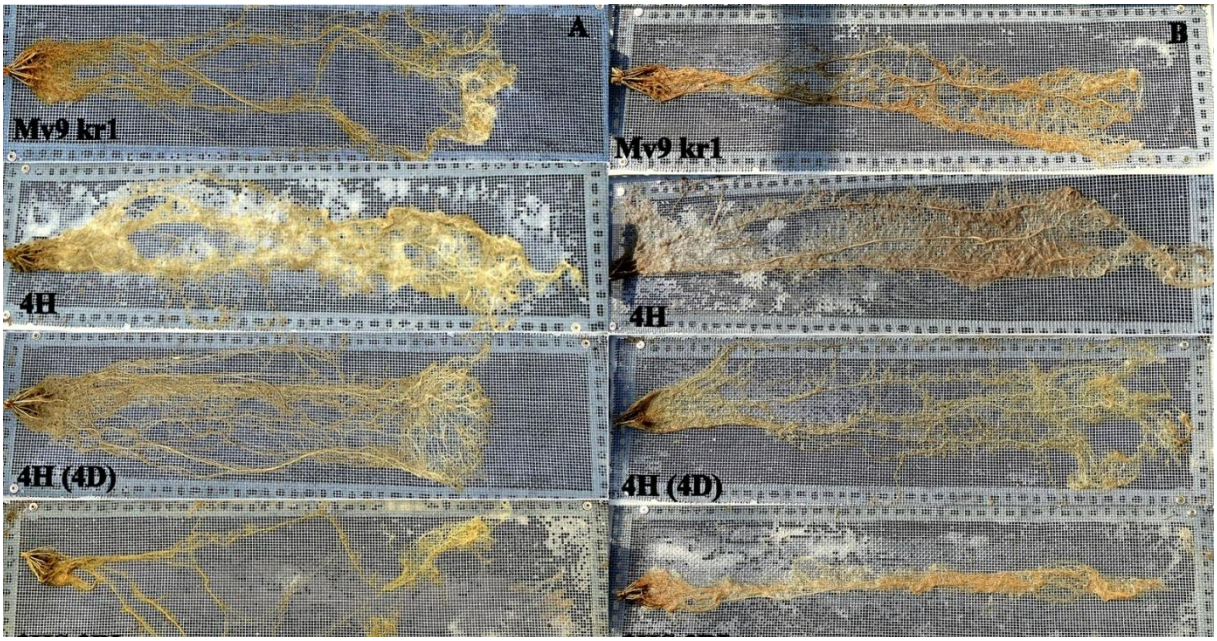

**19. ábra:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő gyökértömege a kontroll és a vízhiányos kezelésekben, tenyészedényes kísérletben. A százalékos számok a mélygyökerek arányát jelzik a felszíni gyökerekhez viszonyítva (2013, Keszthely).

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

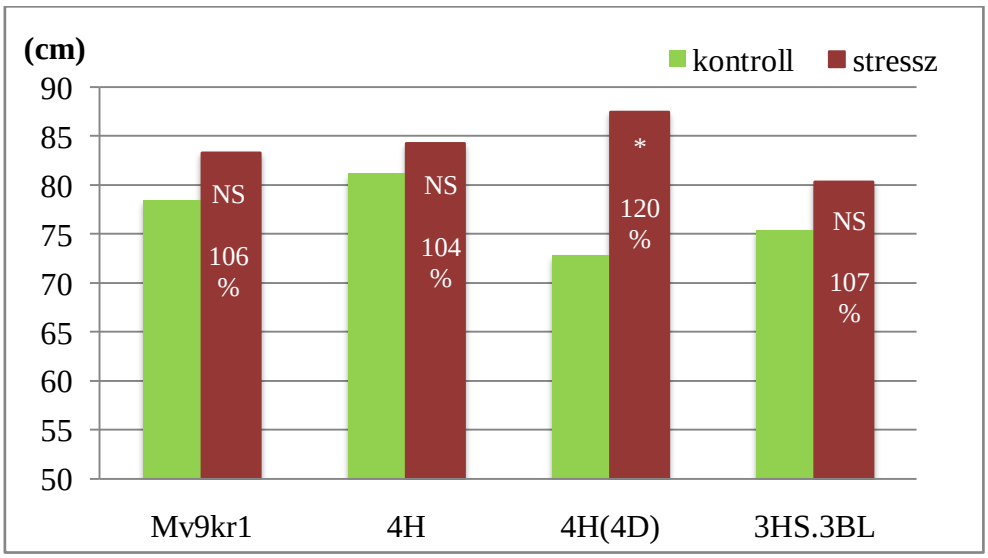
A vizsgált genotípusoknál, mindkét kezelésben a felszíni gyökerek tömege nagyobb volt a mélygyökerek tömegéhez képest. A vízhiányhatására azonban a mélygyökerek aránya mindegyik genotípusnál növekedett a felszíni gyökerek rovására (19. ábra; 20. ábra). A felszíni gyökerek aránya mindkét kezelésben a 3HS.3BL transzlokáció esetében volt a legnagyobb, és a mélygyökerek aránya ennél a genotípusnál nőt a legkisebb mértékben (1,81 %) a vízhiány hatására. A felszíni gyökerek aránya a 4H vonal esetében volt a legkisebb a kontroll kezelésben. A vízmegvonás hatására a mélygyökerek aránya nem növekedett számottevően (11,62 %-kal). A legnagyobb mértékben a 4H(4D) mélygyökér aránya (23,59 %-kal) nőtt a vízhiány hatására.

A kontroll kezelésben a 4H addíció gyökere hosszabb volt az Mv9 kr1 búzánál (20. ábra; 21. ábra). A vízhiány hatására mindegyik genotípus gyökérhossza növekedett, a legnagyobb mértékben a 4H(4D) szubsztitúcióé.

A gyökerek kimosása közben azt tapasztaltuk, hogy a 4H és a 4H(4D) gyökérzete erősebb, és a gyökerek vastagabbak voltak, a mélygyökereket erős hajszálgyökér képződés jellemezte (20. ábra). Ezzel szemben a 3HS.3BL vonal gyökere gyengébb és vékonyabb volt, a mosás során könnyebben elszakadt.




**20. ábra:** Búza- árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő gyökere a kontroll (A) és vízhiányos (B) kezelésben, tenyészedényes kísérletben (2013, Keszthely).

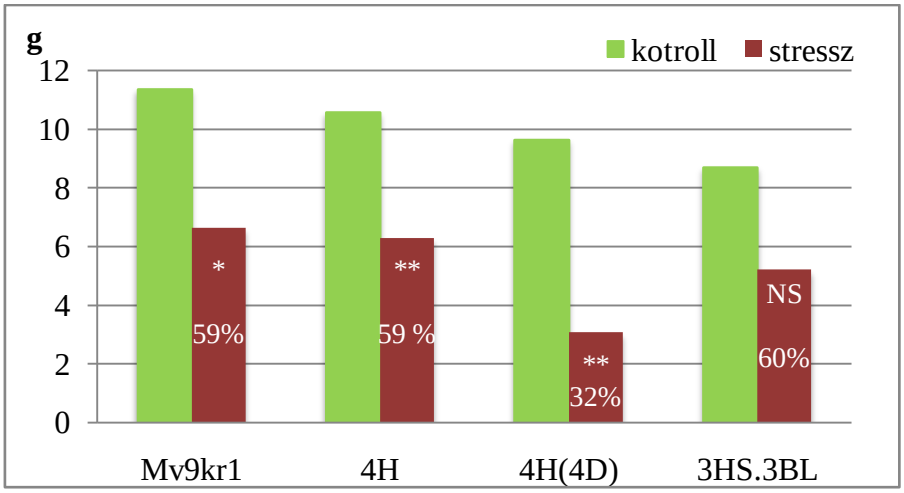



**21. ábra:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza gyökérhosszának alakulása a kontroll és a vízhiányos kezelésben, tenyészedényes kísérlet. A százalékos értékek a stresszkezelésben mért gyökérhossz arányát mutatják a kontrollhoz képest (2013, Keszthely).

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között $P < 0,05$ szinten, t-próba alapján.

## Hajtástömeg

Az Mv9 kr1 hajtástömege volt a legnagyobb mindkét kezelésben (22. ábra). A vízhiány hatására mindegyik genotípus a hajtástömege csökkent, átlagosan 40 %-kal, a 4H(4D) esetében azonban 68 %-kal.




**22. ábra:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő hajtástömege a kontroll és a vízhiányos kezelésekben, tenyészedényes kísérletben. A százalékos értékek a stressz kezelésben mért hajtástömeg arányát mutatják a kontrollhoz képest (2013, Keszthely).

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

### A termés és a terméselemek alakulása

A növényenkénti szemszám mindkét kezelésben (23. táblázat) a 4H addíciónál bizonyult a legnagyobbnak (202 és 100 db), míg a 4H(4D) szubsztitúció esetében a legkevesebbnek (100 és 22 db). A növényenkénti termés a kontroll kezelésben az Mv9 kr1 búza esetében volt a legnagyobb (4,48 g), míg a stressz kezelésben a 4H és 3HS.3BLvonalaké (2,44 g), bár meghaladták a búza szülő termését (2,22 g). A vízhiány hatására mindegyik genotípusnál csökkent a növényenkénti szemszám és a termés. Az Mv9 kr1 termése 50 %-kal csökkent a stressz kezelésben. A 3HS.3BL és a 4H terméscsökkenése kisebb mértékű volt a búza szülőhöz képest (32,97 és 42,27 %), míg a 4H(4D) termésdepressziója igen erőteljes volt (-80 %). Az ezerszemtömeg (ESZT) az Mv9 kr1 és a 4H esetében csökkent, a 3HS.3BL és a 4H(4D) vonalaknál nőtt. Ez utóbbi jelenség a szemszám-csökkenés ellensúlyozásaként értelmezhető.

**23. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és az Mv9 kr1 búza szülő szemszáma, termése és ezerszemtömege (ESZT) a kontroll és a vízhiányos kezelésekben, tenyészedényes kísérletben (2013, Keszthely).

| Genotípus | Szem / növény, db | | Termés / növény, g | | ESZT g | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **Mv9 kr1** | 180,00 | 97,00** | 4,48 | 2,22** | 29,93 | 22,72** |
| **4H** | 201,67 | 99,67** | 4,23 | 2,44** | 28,53 | 28,25 |
| **4H(4D)** | 100,33 | 22,33** | 3,02 | 0,60** | 30,27 | 34,80 |
| **3HS.3BL** | 122,33 | 80,67 | 3,64 | 2,44 | 31,06 | 34,90 |
| **Átlag** | 151,08 | 74,92 | 3,84 | 1,92 | 29,95 | 30,17 |
| **Különbség, %** | (-)50,88 | | (-)50,00 | | (+)0,75 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.

### 5.2.3. Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata szabadföldi kísérletben, Keszthelyen

2011 májusáig a csapadék és az öntöző víz összesen 225 mm (205+20 mm) esőnek felelt meg. A stresszelt növények 37 mm-rel kevesebb vizet kaptak. 2012-ben a virágzásig a csapadék és az öntöző víz összesen 190 mm (170+20 mm) volt, amelyből a vízhiánynak kitett növények 49 mm-rel kevesebbet kaptak.

**Virágzás és érés ideje**

A vízhiány hatására a vizsgált genotípusok átlagosan 2 nappal korábban virágoztak mindkét évben (24. táblázat). A 2H, 6HS és a 4H vonalak virágzási idejére volt a legnagyobb hatással a stressz. Az érés idejére növekedett a kezelések közötti különbség, 2011-ben átlagosan 5,5 nappal, míg 2012-ben 4 nappal értek be korábban. A szemtelítődés ideje átlagosan 3 és 2 nappal rövidült. 2011-ben a Betzes tavaszi árpa és a Chinese Spring tavaszi búza érésidejére nagy hatással volt a vízhiány, ami a száraz tavasz okozta lassú kezdeti fejlődésre vezethető vissza. Mindkét évben a vízhiánynak kisebb mértékben hatott az Igri őszi árpa érés- és szemtelítődési idejére, mint az Mv9 kr1 őszi búzáéra. Az introgressziós vonalak közül a 6H és a 7H addíciós vonal érésidejét befolyásolta legkevésbé a vízhiány. Az Mv9 kr1 búza érésideje nagyobb mértékben került előrébb, mint a 2H, 4H, 6H, 6HS és a 7H addíció érésideje. A szemtelítődés ideje a 3H és 3HS.3BL kivételével mindegyik vonalnál kevésbé rövidült, mint az Mv9 kr1 esetében.

**Relatív víztartalom**

A búza-árpa introgressziós vonalak zászlósleveleinek relatív víztartalmának átlaga (RWC) az első vizsgálati évben, a rendkívül száraz évjárat következtében alacsonyabb volt (25. táblázat). Az első évben a legmagasabb RWC-értéke mindkét kezelésben a Betzes tavaszi árpának és a 3H addíciós vonalnak volt, míg a legalacsonyabb a Chinese Spring tavaszi búzának. Az alacsonyabb RWC-érték nagyobb vízhiányt jelöl. Mindegyik vizsgálati évben az Mv9 kr1 őszi búzának a kísérleti átlagnál magasabb volt az RWC-értéke, míg az Igri és a Betzes árpának a második évben alacsonyabb volt a vizsgálati átlagnál.

**24. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek virágzási-, érési és szemtelítődési ideje a kontroll és a stressz kezelésben szabadföldi kísérletben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | 50%-os virágzás, EC:64-65 | | | Érés, EC:91-93 | | | Szemtelítődés, EC 71-92 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | különbség, nap | kontroll | stressz | különbség, nap | kontroll | stressz | különbség, nap |
| **2010-2011** | | | | | | | | | |
| **2H** | máj. 21 | máj. 18 | -3 | jún. 27. | jún. 22. | -5 | 34 | 32 | -2 |
| **3H** | máj. 19 | máj. 18 | -1 | jún. 28. | jún. 22. | -6 | 37 | 32 | -5 |
| **3HS.3BL** | máj. 18 | máj. 16 | -2 | jún. 26. | jún. 20. | -6 | 36 | 32 | -4 |
| **4H** | máj. 22 | máj. 20 | -2 | júl. 1. | jún. 26. | -5 | 37 | 34 | -3 |
| **4H(4D)** | máj. 18 | máj. 14 | -4 | jún. 24. | jún. 20. | -4 | 34 | 32 | -2 |
| **6B-4H** | máj. 18 | máj. 15 | -3 | jún. 26. | jún. 20. | -6 | 36 | 33 | -3 |
| **6H** | máj. 18 | máj. 16 | -2 | jún. 24. | jún. 20. | -4 | 34 | 32 | -2 |
| **6HS** | máj. 19 | máj. 16 | -3 | jún. 27. | jún. 22. | -5 | 36 | 34 | -2 |
| **7D-5HS** | máj. 18 | máj. 16 | -2 | jún. 27. | jún. 20. | -7 | 37 | 35 | -2 |
| **7H** | máj. 17 | máj. 15 | -2 | jún. 24. | jún. 20. | -4 | 35 | 33 | -2 |
| **Mv9 kr1** | máj. 18 | máj. 16 | -2 | jún. 26. | jún. 20. | -6 | 36 | 32 | -4 |
| **Igri** | máj. 09 | máj. 07 | -2 | jún. 10. | jún. 6. | -4 | 29 | 26 | -3 |
| **Ch. S.** | máj. 31 | máj. 28 | -3 | jún. 29. | jún. 22. | -7 | 33 | 24 | -9 |
| **Betzes** | máj. 28 | máj. 25. | -3 | jún. 27. | jún. 18. | -9 | 29 | 24 | -5 |
| **2011-2012** | | | | | | | | | |
| **2H** | máj. 15 | máj. 12 | -3 | jún. 28. | jún. 23. | -5 | 41 | 40 | -1 |
| **3H** | máj. 14 | máj. 12 | -2 | jún. 28. | jún. 23. | -5 | 42 | 39 | -3 |
| **3HS.3BL** | máj. 10 | máj. 08 | -2 | jún. 23. | jún. 18. | -5 | 42 | 38 | -4 |
| **4H** | máj. 16 | máj. 13 | -3 | jún. 29. | jún. 23. | -6 | 41 | 39 | -2 |
| **4H(4D)** | máj. 11 | máj. 09 | -2 | jún. 21. | jún. 18. | -3 | 39 | 38 | -1 |
| **6B-4H** | máj. 11 | máj. 09 | -2 | jún. 24. | jún. 19. | -5 | 42 | 39 | -3 |
| **6H** | máj. 11 | máj. 10 | -1 | jún. 21. | jún. 19. | -2 | 39 | 38 | -1 |
| **6HS** | máj. 12 | máj. 09 | -3 | jún. 23. | jún. 19. | -4 | 40 | 39 | -1 |
| **7D-5HS** | máj. 13 | máj. 10 | -3 | jún. 24. | jún. 19. | -5 | 39 | 38 | -1 |
| **7H** | máj. 08 | máj. 07 | -1 | jún. 20. | jún. 18. | -2 | 40 | 39 | -1 |
| **Mv9 kr1** | máj. 10 | máj. 08 | -2 | jún. 24. | jún. 19. | -5 | 42 | 39 | -3 |
| **Igri** | máj. 01 | ápr. 30 | -1 | jún. 17. | jún. 14. | -3 | 44 | 43 | -1 |
| **Ch. S.** | máj. 09 | máj. 07 | -2 | - | - | | - | - | - |
| **Betzes** | máj. 01. | ápr. 30. | -1 | jún. 17. | jún. 14. | -3 | 44 | 42 | -2 |

Mv9 kr1×Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring×Betzes)×Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

A vízhiány hatására 2011-ben átlagosan 4,86 %-kal csökkent a vizsgált növények relatív víztartalma. A legnagyobb mértékben a 3HS.3BL vonal RWC-értéke csökkent, míg a legkevésbé az Igri árpáé. Az Igri őszi árpa, 6HS és a 4H addíció víztartalom csökkenése minkét évben a legkisebbek között volt. A második vizsgálati évben átlagosan 6,23 %-kal csökkent az RWC. 2012-ben a kezelések között erősebb stressz hatást mutatkozott, amelyre a 2H, 6H addíció és az Igri árpa kivételével erőteljesebb vízcsökkenéssel reagáltak a vizsgált genotípusok. Néhány genotípus ellentétesen viselkedett az első évhez képest, pl. 2012-ben a 7H addíció relatív víztartalma csökkent a legnagyobb mértékben (11,38 %), míg 2011-ben az átlagosnál kisebb volt a csökkenése (4,81 %).

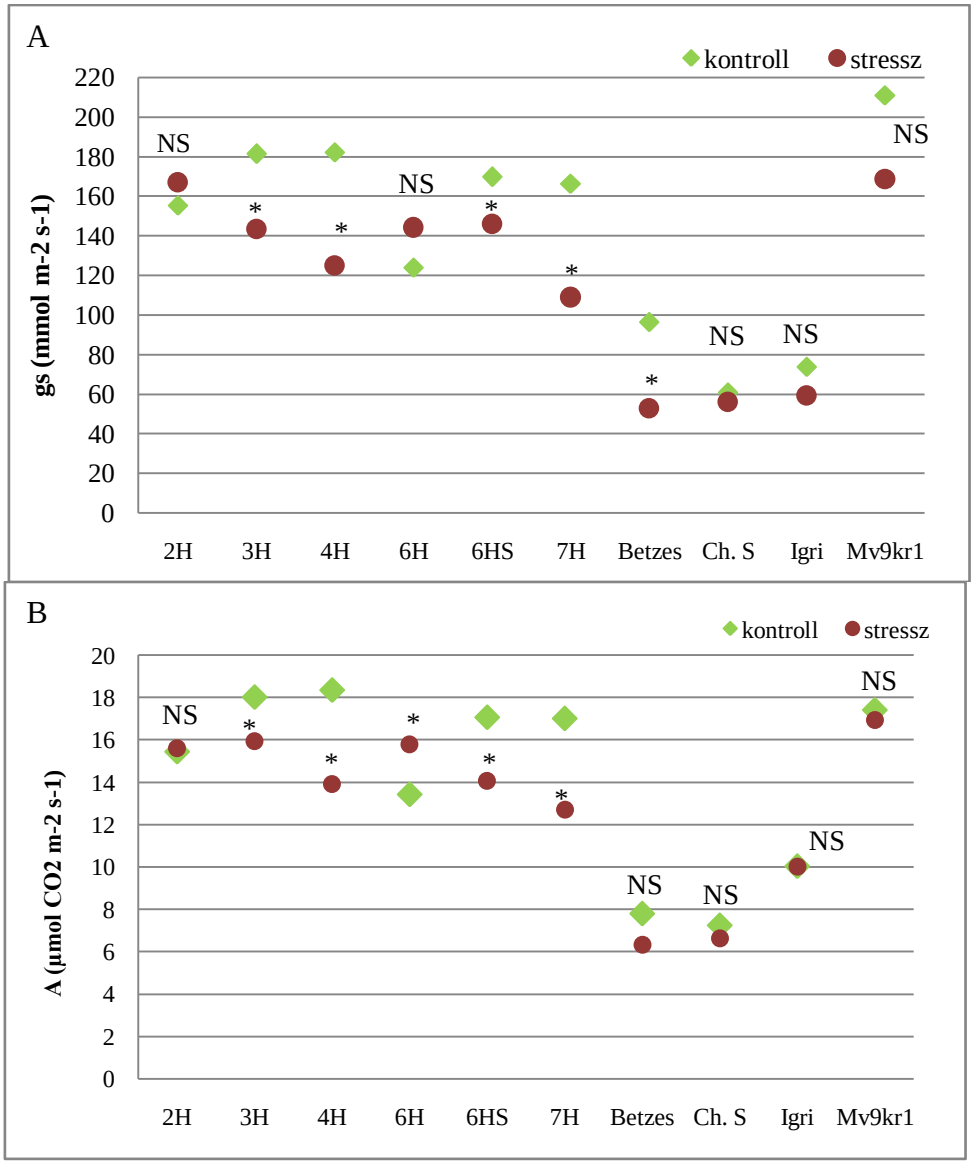
**25. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek zászlóslevelének relatív víztartalma (RWC) május végén, a tejes érés időszakában a kontroll és a vízhiányos kezelésekben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | RWC (%), 2011 | | RWC (%) 2012 | |
|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2H** | 78,71 | 71,823** | 86,52 | 85,20 |
| **3H** | 87,48 | 81,38 | 89,02 | 83,99 |
| **3HS.3BL** | 74,26 | 63,54 | - | - |
| **4H** | 73,08 | 70,36 | 87,68 | 83,81 |
| **4H(4D)** | 72,43 | 66,53 | - | - |
| **6B-4H** | 75,26 | 68,73* | - | - |
| **6H** | 79,05 | 79,17 | 88,22 | 80,07** |
| **6HS** | 76,90 | 75,02 | 88,35 | 84,90 |
| **7D-5HS** | 73,57 | 69,80 | - | - |
| **7H** | 77,32 | 72,53 | 90,39 | 79,01** |
| **Betzes** | 88,33 | 80,11 | 76,01 | 65,05* |
| **Ch. S.** | 68,69 | 64,78 | 82,81 | 72,60* |
| **Igri** | 77,95 | 76,32 | 75,23 | 73,80 |
| **Mv9 kr1** | 79,79 | 74,73 | 87,90 | 79,57* |
| **Átlag** | 77,34 | 72,49 | 84,95 | 78,72 |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között $P < 0,05$; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

## Fotoszintézis

A vízhiány hatására a 2H és a 6H addíció kivételével a vizsgált genotípusok mindegyikénél kisebb lett a sztómakonduktencia és a $CO_2$-fixálás mértéke (23. ábra). A csökkenés a kis vízvesztést mutató 4H és a nagy vízvesztést mutató 7H vonalaknál volt a legintenzívebb. A kontroll kezelésben az Mv9 kr1 szülő nettó $CO_2$-fixálása a 3H és 4H addíció kivételével a többi vonalnál magasabb értéket adott. A 2H és a 6H addíció kismértékben fokozta a szénasszimilációt, ezek a vonalak a vízhiány hatására is folytatták a fotoszintézist.




**23. ábra:** Búza-árpa addíciós vonalak és a szülőpartnerek zászlósleveleinek sztómakonduktencia (A) és a nettó $CO_2$-fixálás (B) értékei a kontroll és a stressz kezelésben, a tejes érés alatt szabadföldi kísérletben (2012, Keszthely).

Megjegyzés: * szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05 szinten, t-próba alapján.

A PS II fotokémia rendszer maximális kvantumhasznosítása (Fv/Fm) az Mv9 kr1, Igri és 6H esetében nem változott a vízhiány hatására, míg a többi vizsgált genotípusnál csökkent (26. táblázat). Az Fv/Fm értéke a Betzes tavaszi árpánál, 3H, 4H és 6HS vonalnál szignifikáns csökkenést mutatott. Az effektív kvantum hatásfoka (ΔF/Fm') az Mv9 kr1, Chinese Spring búzák és a 4H addíció esetében nem változott, míg szignifikáns csökkenést mutatott a Betzes árpa és a 2H vonal. A nem fotokémiai kioltás (NPQ) az Mv9 kr1, Igri, Chinese Spring, 7H és 6HS esetében nőtt, míg a többi genotípusnál csökkent.

**26. táblázat:** Búza-árpa addíciós vonalak és a szülőpartnerek zászlósleveleinek maximális kvantumhasznosítása (Fv/Fm), effektív kvantum hatásfoka (ΔF/Fm'), és a nem fotokémiai kioltás (NPQ) a kontroll és a stressz kezelésben, a tejes érés alatt szabadföldi kísérletben (2012, Keszthely).

| Genotípus | Fv/Fm | | ΔF/Fm' | | NPQ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2H** | 0,81 | 0,80 | 0,16 | 0,13* | 2,34 | 1,95* |
| **3H** | 0,82 | 0,78** | 0,16 | 0,14 | 2,46 | 1,95 |
| **4H** | 0,82 | 0,80* | 0,17 | 0,17 | 2,67 | 2,55 |
| **6H** | 0,81 | 0,81 | 0,17 | 0,14 | 2,58 | 2,26 |
| **6HS** | 0,82 | 0,81* | 0,16 | 0,14 | 2,40 | 2,53 |
| **7H** | 0,81 | 0,80 | 0,17 | 0,14 | 2,27 | 2,41 |
| **Betzes** | 0,79 | 0,70* | 0,15 | 0,10** | 2,74 | 2,62 |
| **Ch. Spring** | 0,77 | 0,76 | 0,16 | 0,16 | 2,66 | 2,72 |
| **Igri** | 0,80 | 0,80 | 0,12 | 0,11 | 2,39 | 2,43 |
| **Mv9 kr1** | 0,80 | 0,80 | 0,15 | 0,16 | 2,17 | 2,48* |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

**Növénymagasság, kalászhossz**

Az első vizsgálati évben a fólia okozta fényviszonyok változása következtében a stresszelt növények magassága kis mértékben növekedett, csupán 6H, 6HS, Betzes és Chiense Spring esetében csökkent (27. táblázat). 2012-ben a fólia okozta környezeti hatás mértéke erősebb volt, átlagosan 3,8 %-kal csökkent a vízhiányos növények magassága. Az Igri és a Betzes árpa magassága azonban ebben az évben sem változott. Az Mv9 kr1 búza magassága kisebb mértékben csökkent, mint a búza-árpa vonalaké. A legnagyobb mértékű magasság csökkenése a 3H addíciós vonalnak volt.

A stresszelt növények főkalászhossza a vízmegvonás következtében átlagosan 5,3 és 1,9 %-kal csökkent (27. táblázat). Az Mv9 kr1 őszi szülő főkalászhossza mindkét évben nagyobb mértékben (6,6 és 2,9 %) rövidült az átlagnál. Az introgressziós vonalak közül a legnagyobb mértékben a 7D-5HS, 2H, 3HS.3BL és 6HS kalásza lett kisebb. A 6B-4H transzlokáció főkalásza a vízhiány következtében egyik vizsgálati évben sem változott, a 7H és 4H(4D) vonalaké pedig csupán kis mértékben.

**Levélfelület**

A levélfelület 2011-ben 19,7 %-kal kisebb értéket mutatott, 6H, 7H és 6B-4H kivételével a búza-árpa vonalak levélfelület csökkenése nagyobb volt, mint az Mv9 kr1 búzáé. A 6H addíciós vonal zászlóslevele kis mértékben (7,8 %-kal) csökkent, és a stresszelt növények levélfelülete nagyobb volt az Mv9 kr1 búzáénál. Ezzel szemben, bár kisebb csökkenést

mutattak, mindkét kezelésben a legkisebb zászlóslevél felülete a 7H, 7D-5HS és a 6B-4H vonalaknak volt.

2012-ben a vízhiány hatására 19 %-kal csökkent a zászlóslevelek felülete a legnagyobb mértékben a 2H addíciós vonalé (27. táblázat).

**27. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek növénymagasságának, főkalászhosszának és zászlóslevél felületének változása a vízhiány hatására szabadföldi kísérletben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | Növénymagasság, cm | | Főkalászhossz, cm | | Levélfelület, $mm^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2010-2011** | | | | | | |
| **2H** | 68,60 | 74,50** | 10,39 | 9,32** | 2135,50 | 1575,00 |
| **3H** | 53,49 | 60,65** | 7,02 | 7,21 | 1569,00 | 1315,50 |
| **3HS.3BL** | 103,20 | 107,62** | 6,73 | 6,24** | 1389,25 | 1046,25 |
| **4H** | 54,20 | 55,76 | 8,56 | 8,23 | 1894,50 | 1337,75** |
| **4H(4D)** | 66,82 | 66,81 | 4,70 | 4,94 | 1880,00 | 1294,25* |
| **6B-4H** | 84,98 | 91,36* | 6,31 | 6,45 | 1122,00 | 1061,50 |
| **6H** | 66,24 | 64,03 | 7,31 | 7,06 | 1590,75 | 1467,25 |
| **6HS** | 63,67 | 62,43 | 8,28 | 7,60** | 2120,75 | 1400,75** |
| **7D-5HS** | 66,18 | 67,30 | 7,43 | 6,46** | 848,25 | 707,00 |
| **7H** | 55,01 | 61,30** | 8,37 | 8,29 | 1009,50 | 1270,67 |
| **Betzes** | 65,95 | 61,50 | 8,46 | 7,83* | | |
| **Ch. S.** | 66,98 | 56,07 ** | 5,51 | 4,49** | 1265,25 | 783,00** |
| **Igri** | 70,49 | 74,68 | 9,33 | 9,30 | 707,25 | 672,67 |
| **Mv9 kr1** | 69,17 | 71,67* | 9,30 | 8,69* | 1622,75 | 1449,67 |
| **Átlag** | 68,21 | 69,69 | 7,69 | 7,29 | 1473,44 | 1183,17 |
| **Különbség, %** | +2,17 | | -5,19 | | -19,70 | |
| **2011-2012** | | | | | | |
| **2H** | 89,62 | 81,54** | 11,50 | 11,05 | 3420,75 | 1903,00** |
| **3H** | 76,54 | 67,32** | 9,25 | 8,80* | 3395,25 | 2405,67* |
| **3HS.3BL** | 116,08 | 113,71* | 8,09 | 7,91 | | |
| **4H** | 76,51 | 70,80 | 9,57 | 9,28 | 2993,75 | 2566,00 |
| **4H(4D)** | 80,79 | 76,29** | 5,95 | 5,80 | 2660,50 | 2178,00 |
| **6B-4H** | 107,28 | 103,92** | 7,61 | 7,67 | | |
| **6H** | 80,54 | 78,23 | 8,77 | 8,78 | | |
| **6HS** | 74,02 | 71,20 | 9,80 | 9,35** | 2998,50 | 2690,00 |
| **7D-5HS** | 76,79 | 74,85* | 8,71 | 8,46 | 2358,00 | 2119,33 |
| **7H** | 81,06 | 75,61** | 8,80 | 8,78 | | |
| **Betzes** | 84,29 | 90,24** | 9,31 | 9,53 | | |
| **Igri** | 86,19 | 86,66 | 8,18 | 8,12 | | |
| **Mv9 kr1** | 85,21 | 83,57 | 10,36 | 10,06 | 3103,00 | 3090,33 |
| **Átlag** | 85,76 | 82,61 | 8,92 | 8,74 | 2989,96 | 2421,76 |
| **Különbség, %** | -3,68 | | -2 | | -19 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.
Chinese Spring és Betzes 2011-ben tavaszi, 2012-ben őszi vetés.

## Produktív bokrosodás

A vizsgált növények produktív bokrosodása 2011-ben 25,81 %-kal, 2012-ben 10 %-kal csökkent vízhiány hatására (28. táblázat). Mindkét évben az Mv9 kr1 őszi búza kalászszáma

kevésbé csökkent (1,3 és 5,7 %), mint az Igri őszi árpáé (12,4 és 12,5 %). A Betzes tavaszi árpa kalászszáma 50 %-kal csökkent 2011-ben, míg 2012-ben csupán 10,4 %-kal.

Az első vizsgálati évben mindegyik genotípus produktív bokrosodása nagyobb mértékben romlott a vízhiány hatására, mint az Mv9 kr1 őszi búzáé. A legkevésbé a 6H (2 %-kal) kalászszáma csökkent, míg a legerőteljesebben a 7H addíciós vonalé (57,4 %-kal). 2012-ben a búza-árpa vonalak közül a 6HS, 6H és 6B-4H kalászszáma kevésbé változott, mint az őszi búzáé. A 4H addíció produktív bokrosodásának változása mindkét évben azonos volt (8,7 és 8,5 %). A nagy csökkenést mutató 3H stresszelt növényei több kalászt érleltek be, mint az Mv9 kr1 búza.

**Termés és a terméselemek alakulása**

A vízhiány hatására mindegyik genotípusnál csökkent a növényenkénti szemszám és a termés mindkét évben (28. táblázat). A stresszelt növények szemszáma átlagosan 31,81 és 15,42 %-kal lett kisebb. Az Igri árpa szemszáma kisebb mértékben változott a vízhiány következtében, mint az Mv9 kr1 búzáé. 2011-ben a legnagyobb mértékben a 7D-5HS szemszáma csökkent (52,4 %-kal), míg a legkevésbé a 4H vonalé (4,6 %-kal). 2012-ben a legnagyobb mértékben a 3H szemszáma lett kevesebb (56 %-kal), legkevésbé pedig a 6HS addíciónak.

A 7H és a 6B-4H a két vizsgálati évben ellentétesen viselkedett. A 7H vízhiányos növényeinek szemszáma – bár kicsi volt a szemszáma a kontrollban is - 2011-ben mindössze 14,4 %-kal maradt el a kontrollhoz képest, míg 2012-ben a második legnagyobb romlást mutatta (-24,7 %). A 6B-4H szemszám csökkenése 2011-ben volt magasabb (49 %), ezzel szemben 2012-ben csupán 6,2 %-kal lett kevesebb.

A növényenkénti szemszám abszolút értékét nézve az introgressziós vonalak közül 7H addíciónak volt a második legkevesebb mindkét évben. 2011-ben a nagyarányú csökkenést mutató 2H és 3H addíció, ill. a kis mértékű csökkenést mutató 4H vízhiányos növényei adták a legnagyobb növényenkénti szemszámot, míg 2012-ben a 3HS.3BL, 2H és 4H(4D).

A vizsgált vonalak és a szülőpartnerek termése átlagosan 29,73 ill. 17,42 %-kal csökkent (28. táblázat) a stressz kezelésben. A vízhiány hatására az Mv9 kr1 búza szülő termése 23,5 ill. 21,6 %-kal, míg az Igri árpa szülő termése 21 ill. 18 %-kal lett kevesebb. 2011-ben a 4H(4D) és a 6HS vonal (5,3 és 6,5 %), míg 2012-ben a 4H és a 6HS (2,3 és 2,4 %) addíció termése csökkent a legkevésbé. Mindkét évben a legnagyobb termésveszteséget a 3H addíciónál (45 és 40 %-kal) mértük.

A terméscsökkenést alig mutató 6HS és 4H(4D) stresszelt növényeinek termése mindkét évben kevesebb volt, mint az Mv9 kr1 őszi búzáé. Ezzel szemben a legnagyobb termést 2011-

ben a nagyarányú terméscsökkenést mutató 3H addíció adta, 2012-ben pedig a 3HS.3BL transzlokáció.

A vízhiányos kezelésben a 2H ezerszemtömege nőtt, a 3H, 3HS.3BL, 4H(4D), 6B-4H és Mv9 kr1 nem változott az első vizsgálati évben, míg a többi vizsgált genotípusnál csökkent. 2012-ben a 2H, 3H, 4H, 4H(4D), 6HS és 7H vonalaknál kismértékű növekedést tapasztaltunk (28. táblázat).

**28. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek produktív bokrosodásának, növényenkénti szemszámának, termésének és ezerszemtömegének változása a vízhiány hatására a kontroll százalékában kifejezve, szabadföldi kísérletben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | Kalász/ növény, db | | Szem/ növény, db | | Termés/ növény, g | | ESZT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| **2010-2011** | | | | | | | | |
| **2H** | 6,20 | 4,27** | 217,50 | 156,33** | 6,98 | 5,47* | 34,03 | 35,22 |
| **3H** | 7,60 | 5,50 | 284,50 | 145,33** | 10,75 | 5,88** | 40,93 | 41,10 |
| **3HS.3BL** | 5,05 | 3,10** | 183,90 | 100,5** | 7,61 | 4.16** | 41,77 | 41,77 |
| **4H** | 3,60 | 3,30 | 165,10 | 157,5 | 5,69 | 4,58 | 34,66 | 30,17** |
| **4H(4D)** | 4,90 | 3,71 | 130,30 | 117,14 | 4,74 | 4,49 | 36,64 | 37,61 |
| **6B-4H** | 3,40 | 2,93 | 95,70 | 48,71* | 2,99 | 1,63* | 32,46 | 32,94 |
| **6H** | 3,40 | 3,33 | 92,30 | 73,81 | 3,38 | 2,53 | 36,33 | 34,43** |
| **6HS** | 3,80 | 2,92 | 146,50 | 97,00** | 3,71 | 3,47 | 38,07 | 35,85* |
| **7D-5HS** | 4,10 | 3,00** | 150,50 | 71,70** | 5,17 | 3,11** | 41,07 | 40,80 |
| **7H** | 5,40 | 2,30** | 73,10 | 62,60 | 3,46 | 2,54 | 42,03 | 40,66 |
| **Betzes** | 4,00 | 2,00** | 80,80 | 35,52** | 3,64 | 1,48** | 44,43 | 41,82* |
| **Ch. S.** | 1,68 | 1,25 | 31,74 | 15,8** | 0,71 | 0,35** | 22,92 | 19,62 |
| **Igri** | 11,40 | 9,30 | 279,20 | 227,2* | 14,89 | 11,73* | 53,07 | 51,51* |
| **Mv9 kr1** | 3,90 | 3,85 | 144,20 | 106,1** | 5,95 | 4,55** | 43,19 | 43,52 |
| **Átlag** | 4,89 | 3,63 | 148,24 | 101,09 | 5,69 | 4,00 | 38,69 | 37,65 |
| **Különbség, %** | -25,81 | | -31,81 | | -29,73 | | -2,69 | |
| **2011-2012** | | | | | | | | |
| **2H** | 4,13 | 3,69 | 140,37 | 120,83 | 4,79 | 4,07 | 34,53 | 35,24 |
| **3H** | 5,63 | 4,59 | 195,30 | 119,44** | 6,91 | 4,15** | 35,08 | 36,16 |
| **3HS.3BL** | 5,13 | 4,73 | 183,77 | 152,20 | 6,90 | 5,50* | 38,32 | 37,34 |
| **4H** | 3,13 | 2,87 | 98,77 | 89,23 | 3,05 | 2,98 | 31,74 | 34,63** |
| **4H(4D)** | 5,70 | 5,39 | 152,07 | 134,45 | 4,49 | 3,95 | 29,60 | 31,23 |
| **6B-4H** | 4,13 | 4,00 | 106,87 | 100,28 | 3,51 | 3,10 | 32,67 | 31,13 |
| **6H** | 4,67 | 4,47 | 111,67 | 102,61 | 3,80 | 3,18 | 34,31 | 31,71** |
| **6HS** | 3,77 | 3,57 | 111,33 | 107,48 | 3,60 | 3,51 | 34,22 | 34,56 |
| **7D-5HS** | 4,64 | 3,73* | 135,29 | 109,45 | 5,02 | 3,71** | 37,38 | 34,34** |
| **7H** | 5,50 | 4,81 | 109,87 | 82,75** | 3,88 | 3,06* | 35,14 | 37,17* |
| **Betzes** | 11,67 | 10,46 | 256,50 | 225,04 | 10,32 | 9,57 | 41,43 | 42,51 |
| **Igri** | 9,10 | 7,96 | 203,20 | 180,25 | 10,81 | 8,86** | 52,72 | 49,18** |
| **Mv9 kr1** | 4,00 | 3,77 | 139,93 | 121,4 | 5,79 | 5,29 | 42,34 | 38,99** |
| **Átlag** | 5,48 | 4,93 | 149,61 | 126,54 | 5,60 | 4,63 | 36,88 | 36,48 |
| **Különbség, %** | -10,06 | | -15,42 | | -17,42 | | -1,1 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.
Chinese Spring és Betzes 2011-ben tavaszi, 2012-ben őszi vetés.

A kalászszám, szemszám és termésmennyiség eredményeiben a vizsgálati évek között tapasztalt nagy különbség oka a 2011-es év rendkívül száraz téli és kora tavaszi időjárására vezethető vissza, amelynek következtében a növények már a bokrosodás kezdetétől stresszhatásnak voltak kitéve. Bár 2012-ben a fólia felállítását követően a kontroll növények fejlődésükhöz elégséges csapadékot kaptak a terméscsökkenés mértéke kisebb volt, mert a virágzás időszakában bekövetkező erős éjszakai lehűlések (májusi fagyok) szemszám csökkenést okoztak a kontroll növényeknél.

A vízhiány hatására a vizsgált genotípusok átlagában csökkent a harvest index (HI), 2011-ben 12 %-kal, 2012-ben 7,77 %-kal (29. táblázat). Az első vizsgálati éven magasabb HI értékeket kaptunk és az búza-árpa hibridek HI-e a 3HS.3BL, 6B-4H, 6HS és 7H kivételével meghaladta az Mv9 kr1 őszi búzáét. A stressz hatására a 6HS és a 7H addíció HI-e nem változott, míg a 6B-4H HI-e csökkent a legnagyobb mértékben (30,2 %-kal). A második évben az introgressziós vonalak HI-értéke a 7D-5HS kivételével alacsonyabb volt, mint az Mv9 kr1 búzáé. Ebben az évben is a legalacsonyabb HI-e a 7H és a 6B-4H vonalaknak volt. A 6HS addíció HI-e 1,3 %-kal kis mértékben csökkent, míg a 3H vonalé 30,4 %-kal a legnagyobb mértékben.

**29. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak harvest index értékeinek alakulása vízhiány hatására, szabadföldi kísérletben (2011 és 2012, Keszthely).

| Genotípus | harvest index | | harvest index | |
|---|---|---|---|---|
| | kontroll | stressz | kontroll | stressz |
| | 2010-2011 | | 2011-2012 | |
| **2H** | 0,56 | 0,50 | 0,49 | 0,44** |
| **3H** | 0,58 | 0,46** | 0,49 | 0,39** |
| **3HS.3BL** | 0,47 | 0,46 | 0,48 | 0,46** |
| **4H** | 0,60 | 0,49** | 0,45 | 0,44 |
| **4H(4D)** | 0,63 | 0,53 | 0,47 | 0,45** |
| **6B-4H** | 0,37 | 0,26** | 0,42 | 0,36** |
| **6H** | 0,44 | 0,40* | 0,44 | 0,40* |
| **6HS** | 0,51 | 0,52 | 0,47 | 0,46 |
| **7D-5HS** | 0,56 | 0,50 | 0,55 | 0,51** |
| **7H** | 0,49 | 0,49 | 0,44 | 0,38* |
| **Betzes** | 0,57 | 0,43* | 0,56 | 0,51* |
| **Ch. S.** | 0,48 | 0,35 | | |
| **Igri** | 0,54 | 0,52 | 0,57 | 0,55** |
| **Mv9 kr1** | 0,53 | 0,48 | 0,50 | 0,49 |
| **Átlag** | 0,52 | 0,46 | 0,49 | 0,45 |
| **Klönbség, %** | -12,85 | | -7,77 | |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzik a kezelések között P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.
Chinese Spring és Betzes 2011-ben tavaszi, 2012-ben őszi vetés.

A 2011-ben és 2012-ben végzett szabadföldi kísérletek eredményei alapján számított szárazságtolerancia indexek érétkei és rangsorrendjük a 30. táblázatban látható. Az STI, MP, HM, GMP és YI indikátorok esetében 2011-ben az Igri árpa adta a legmagasabb értéket, míg 2012-ben a Betzes és Igri árpa. Az első évben az Igri árpa után a 3H, 2H és 3HS.3BL következett az Mv9 kr1 búza előtt a rangsorban. A második évben ez a rangsor ugyanezen genotípusokkal a következőképpen módosult: 3HS.3BL, 3H, Mv9 kr1 és 2H. 2011-ben az introgressziós vonalak közül a legalacsonyabb STI, MP, GMP és YI értékeket a 6B-4H, 6H, és 7H adta. 2012-ben a sorrend kissé módosult, a legalacsonyabb indikátor értékeket a 4H addíció adta, a második és harmadik legalacsonyabb érétket a 6B-4H és a 7H, illetve 6H vonalnál kaptuk. Az SSI és a YSI rangsorrendje megegyezett a genotípusok között. Az SSI, YSI és TOL értékek a 4H(4D) és 6HS addíció esetében voltak a legalacsonyabbak 2011-ben, míg 2012-ben a 4H és a 6HS vonalaknál. A TOL index 3H vonal esetében volt a legmagasabb mindkét évben.

**30. táblázat:** Búza-árpa addíciós vonalak termésátlaga kontroll és vízhiányos kezelésekben, valamint a szárazság tolerancia/rezisztencia indexek értékei és rangsorrendje szabadföldi kísérletben (2011, Keszthely).

| Genotípus | Yp | Ys | SSI | STI | TOL | MP | HM | GMP | YSI | YI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2H** | 6,98 | 5,47 | 0,73 | 1,18 | 1,51 | 6,22 | 6,13 | 6,18 | 0,78 | 1,37 |
| **3H** | 10,75 | 5,88 | 1,52 | 1,95 | 4,86 | 8,32 | 7,60 | 7,95 | 0,55 | 1,47 |
| **3HS.3BL** | 7,61 | 4,16 | 1,52 | 0,98 | 3,45 | 5,88 | 5,38 | 5,63 | 0,55 | 1,04 |
| **4H** | 5,69 | 4,58 | 0,66 | 0,81 | 1,11 | 4,87 | 5,08 | 5,11 | 0,80 | 1,15 |
| **4H(4D)** | 4,74 | 4,49 | 0,18 | 0,66 | 0,25 | 4,07 | 4,61 | 4,61 | 0,95 | 1,12 |
| **6B-4H** | 2,99 | 1,63 | 1,52 | 0,15 | 1,35 | 2,31 | 2,11 | 2,21 | 0,55 | 0,41 |
| **6H** | 3,38 | 2,53 | 0,84 | 0,26 | 0,85 | 2,96 | 2,89 | 2,92 | 0,75 | 0,63 |
| **6HS** | 3,71 | 3,47 | 0,22 | 0,40 | 0,24 | 3,59 | 3,59 | 3,59 | 0,93 | 0,87 |
| **7D-5HS** | 5,17 | 3,11 | 1,34 | 0,50 | 2,06 | 4,14 | 3,88 | 4,01 | 0,60 | 0,78 |
| **7H** | 3,46 | 2,54 | 0,90 | 0,27 | 0,92 | 3,00 | 2,93 | 2,96 | 0,73 | 0,63 |
| **Betzes** | 3,64 | 1,48 | 1,99 | 0,17 | 2,15 | 2,56 | 2,11 | 2,32 | 0,41 | 0,37 |
| **Ch. S.** | 0,71 | 0,35 | 1,71 | 0,01 | 0,36 | 0,53 | 0,47 | 0,50 | 0,49 | 0,09 |
| **Igri** | 14,89 | 11,73 | 0,71 | 5,40 | 3,16 | 13,31 | 13,12 | 13,22 | 0,79 | 2,93 |
| **Mv9 kr1** | 5,95 | 4,55 | 0,79 | 0,84 | 1,40 | 5,25 | 5,16 | 5,20 | 0,76 | 1,14 |
| **Rangsorrend** | | | | | | | | | | |
| **2H** | 4 | 3 | 5 | 3 | 9 | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 |
| **3H** | 2 | 2 | 10 | 2 | 14 | 2 | 2 | 2 | 10 | 2 |
| **3HS.3BL** | 3 | 7 | 12 | 4 | 13 | 4 | 4 | 4 | 12 | 7 |
| **4H** | 6 | 4 | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 |
| **4H(4D)** | 8 | 6 | 1 | 7 | 2 | 7 | 7 | 7 | 1 | 6 |
| **6B-4H** | 13 | 12 | 11 | 13 | 7 | 13 | 12 | 13 | 11 | 12 |
| **6H** | 12 | 11 | 7 | 11 | 4 | 11 | 11 | 11 | 7 | 11 |
| **6HS** | 9 | 8 | 2 | 9 | 1 | 9 | 9 | 9 | 2 | 8 |
| **7D-5HS** | 7 | 9 | 9 | 8 | 10 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| **7H** | 11 | 10 | 8 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 |
| **Betzes** | 10 | 13 | 14 | 12 | 11 | 12 | 13 | 12 | 14 | 13 |
| **Ch. S.** | 14 | 14 | 13 | 14 | 3 | 14 | 14 | 14 | 13 | 14 |
| **Igri** | 1 | 1 | 4 | 1 | 12 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 |
| **Mv9 kr1** | 5 | 5 | 6 | 5 | 8 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 |

Yp: kontroll termés; Ys: stressz termés; SSI: stressz érzékenységi index; STI: stressz tolerancia index; TOL: tolerancia; MP: átlagos termékenység; HM: harmonikus átlag; GMP: geometrikus átlagos termékenység; YSI: termés stabilitási index; YI: termés index.

**31. táblázat:** Búza-árpa addíciós vonalak termésátlaga kontroll és vízhiányos kezelésekben, valamint a szárazság tolerancia/rezisztencia indexek értékei és rangsorrendje szabadföldi kísérletben (2012, Keszthely).

| Genotípus | Yp | Ys | SSI | STI | TOL | MP | HM | GMP | YSI | YI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2H** | 4,79 | 4,07 | 0,86 | 0,62 | 0,71 | 4,43 | 4,40 | 4,41 | 0,85 | 0,88 |
| **3H** | 6,91 | 4,15 | 2,29 | 0,91 | 2,76 | 5,53 | 5,18 | 5,35 | 0,60 | 0,90 |
| **3HS.3BL** | 6,90 | 5,50 | 1,16 | 1,21 | 1,40 | 6,20 | 6,12 | 6,16 | 0,80 | 1,19 |
| **4H** | 3,05 | 2,98 | 0,13 | 0,29 | 0,07 | 3,02 | 3,02 | 3,02 | 0,98 | 0,64 |
| **4H(4D)** | 4,49 | 3,95 | 0,69 | 0,57 | 0,54 | 4,22 | 4,21 | 4,21 | 0,88 | 0,85 |
| **6B-4H** | 3,51 | 3,10 | 0,67 | 0,35 | 0,41 | 3,31 | 3,29 | 3,30 | 0,88 | 0,67 |
| **6H** | 3,80 | 3,18 | 0,94 | 0,38 | 0,62 | 3,49 | 3,46 | 3,47 | 0,84 | 0,69 |
| **6HS** | 3,60 | 3,51 | 0,14 | 0,40 | 0,09 | 3,55 | 3,55 | 3,55 | 0,98 | 0,76 |
| **7D-5HS** | 5,02 | 3,71 | 1,50 | 0,59 | 1,31 | 4,36 | 4,26 | 4,31 | 0,74 | 0,80 |
| **7H** | 3,88 | 3,06 | 1,22 | 0,38 | 0,82 | 3,47 | 3,42 | 3,44 | 0,79 | 0,66 |
| **Betzes** | 10,32 | 9,57 | 0,42 | 3,14 | 0,75 | 9,94 | 9,93 | 9,94 | 0,93 | 2,07 |
| **Igri** | 10,81 | 8,86 | 1,03 | 3,05 | 1,95 | 9,83 | 9,74 | 9,79 | 0,82 | 1,91 |
| **Mv9 kr1** | 5,79 | 4,54 | 1,24 | 0,84 | 1,25 | 5,17 | 5,09 | 5,13 | 0,78 | 0,98 |
| **Rangsorrend** | | | | | | | | | | |
| **2H** | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| **3H** | 3 | 5 | 13 | 4 | 13 | 4 | 4 | 4 | 13 | 5 |
| **3HS.3BL** | 4 | 3 | 9 | 3 | 11 | 3 | 3 | 3 | 9 | 3 |
| **4H** | 13 | 13 | 1 | 13 | 1 | 13 | 13 | 13 | 1 | 13 |
| **4H(4D)** | 8 | 7 | 5 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 | 5 | 7 |
| **6B-4H** | 12 | 11 | 4 | 12 | 3 | 12 | 12 | 12 | 4 | 11 |
| **6H** | 10 | 10 | 7 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 7 | 10 |
| **6HS** | 11 | 9 | 2 | 9 | 2 | 9 | 9 | 9 | 2 | 9 |
| **7D-5HS** | 6 | 8 | 12 | 7 | 10 | 7 | 7 | 7 | 12 | 8 |
| **7H** | 9 | 12 | 10 | 11 | 8 | 11 | 11 | 11 | 10 | 12 |
| **Betzes** | 2 | 1 | 3 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| **Igri** | 1 | 2 | 8 | 2 | 12 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 |
| **Mv9 kr1** | 5 | 4 | 11 | 5 | 9 | 5 | 5 | 5 | 11 | 4 |

Yp: kontroll termés; Ys: stressz termés; SSI: stressz érzékenységi index; STI: stressz tolerancia index; TOL: tolerancia; MP: átlagos termékenység; HM: harmonikus átlag; GMP: geometrikus átlagos termékenység; YSI: termés stabilitási index; YI: termés index.

## 5.2.4. Búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének értékelése

A búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálatai során információt kaptunk az egyes árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok szárazságtűrést befolyásoló hatásáról az Mv9 kr1 búza genetikai hátterében. Az árpát koraisága és jobb ozmotikus stressztűrő képessége miatt szárazságtűrőbbnek tartják a búzánál (Cattivelli és mtsai. 2002; Molnár és mtsai. 2007). Az általunk vizsgált búza-árpa introgressziós vonalak közül a 7H addíció virágzási és érési ideje került 1-2 nappal korábbra, amelyért az irodalmi adatok alapján feltehetően a 7H kromoszómán található *Vrn-H3* gén felelős (Yan és mtsai. 2006;

Faure és mtsai. 2007; Farkas és mtsai. 2014). A többi vizsgált addíciós és transzlokációs vonal esetében a búza szülőével megegyező, vagy annál hosszabb tenyészidőt (virágzás- és érésidő) kaptunk a tenyészedényes és a szabadföldi kísérletekben is.

A vízhiány hatására a stresszelt növények magassága csökkent, kivéve a 2011-es szabadföldi kísérletben, ahol téli és tavaszi rendkívül száraz időjárás következtében a kontroll növények is alacsonyak voltak. Baum és mtsai. (2003) szerint a magasabb növények hosszabb gyökeret fejlesztenek, ezért azok a fajták kívánatosak, amelyek szárazságra nem csökkentik nagy mértékben a magasságukat. Vad és termesztett árpa keresztezéséből származó növényeken a szárazságstressz során növénymagasságot befolyásoló lókuszokat azonosítottak a 2H, 3H és a 7H kromoszómán (Baum és mtsai. 2003). A 3H kromoszómán az egyik QTL-en az *sdw1* törpeségi gént helyezkedik el, egy másik QTL pedig a termést pozitívan befolyásolta. Vizsgálataink során a 3H addíciós vonal volt a legalacsonyabb, míg a 2H kromoszóma hatására nőtt növénymagasság. A vizsgált genotípusok közül 3HS.3BL transzlokációs vonal volt a legmagasabb, azonban ez a tulajdonság feltehetően a Chinese Spring tavaszi búza szülőtől ered (Islam és mtsai. 1981). A Keszthelyen végzett tenyészedényes kísérletünkben is a 3HS.3BL vonal volt a legmagasabb a vizsgált genotípusok közül, azonban gyökérhossza mindkét kezelésben a legrövidebb volt.

A gyökérnövekedés és a gyökérzet mérete az egyik legnehezebben tanulmányozható tulajdonság, azonban a szárazsághoz való alkalmazkodás szempontjából meghatározó szerepük van, mivel a száradó talajjal való közvetlen kapcsolata miatt a gyökér érzékeli először a vízhiányt, valamint a gyökér további növekedésével juthat a növény újabb vízkészletekhez. A gyökérvizsgálatok technikai nehézségei miatt a legtöbb esetben a gyökérzet csírakori fejlődését vizsgálják csak. Tenyészedényes kísérleteinkben a kifejlett növény gyökérzetének alakulását vizsgáltuk optimális és vízhiányos kezelésekben. Több, árpán végzett vizsgálat szerint gyökértömeget befolyásoló QTL található a 7H kromoszómán, ill. gyökértömeget és gyökérhosszt befolyásoló QTL van a 4H és 6H kromoszómákon (Champoux és mtsai. 1995; Naz és mtsai. 2014; Li és mtsai. 2002). A martonvásári üvegházban vizsgált Mv9 kr1 × Igri keresztezésből származó addíciós vonalak közül a 3H és 4H gyökértömege nagyobb volt, mint az Mv9 kr1 búza szülő gyökértömege. A vízhiány hatására a 2H, 3H és 6HS gyökértömege csökkent, míg a 4H és a 7H vonalaké növekedett. Keszthelyi kísérletünkben a vizsgált 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL vonal gyökértömege csökkent a vízhiány hatására. Mindkét vizsgálatban a termés- és a biomassza csökkenés mértéke nagyobb volt, mint a gyökértömeg csökkenése. Ez utóbbi kísérletben a 4H és a 4H(4D) gyökértömeg eltérő alakulására magyarázatott adhat, hogy a két tenyészedényes kísérletben a vízellátás

módja különbözött. A martonvásári kísérletben súlyra öntöztünk, míg a keszthelyi kísérlet során az összes vizsgált genotípus ugyanannyi mennyiségű vizet kapott (ezzel igyekeztünk a természetben is lejátszódó folyamatokat utánozni). A súlyra öntözés során azt tapasztaltuk, hogy a növények vízfelvétele jelentősen eltér egymástól és a 4H addíció vízigénye az Igri árpa szülő vízigényével egyenlő. Így a keszthelyi kísérletben a 4H és a 4H(4D) vonal erősebb stresszhatásnak volt kitéve, mint a többi vizsgált genotípus. Ennek ellenére, mindkét vonal stresszelt növényeinek gyökérhossza meghaladta a többi genotípusét, ami az intenzívebb gyökérnövekedésre utal. Szabadföldi körülmények között ez az intenzív gyökérnövekedés a növény szárazságtűrését eredményezheti, azáltal, hogy képessé válik a mélyebb talajrétegekből vizet felvenni, és a fotoszintézisét olyan mértékben fenntartani, amivel a terméscsökkenés minimálissá válik.

A 4H kromoszóma gyökérnövekedésben játszott szerepét ozmotikus stressz (Ellis és mtsai. 1997), alumínium (Raman és mtsai. 2002; Darko és mtsai. 2012) és bór (Jefferies és mtsai. 1999) stressz esetén is megfigyelték.

Szabadföldi vizsgálataink során, a stresszkezelt növények közül a 2H, 3H, 6H és 6HS vonalaknál magas relatív víztartalmat (RWC) mértünk. Farshadfar és mtsai. (2008a) Chinese Spring × Betzes keresztezésből származó addíciós vonalakat vizsgálva úgy találta, hogy a magas RWC fenntartásában szerepet játszó gének a 4H és a 6H kromoszómákon vannak. Ezek a gének magasabb RWC értéket eredményeztek normál és vízhiányos környezetben is. A 6H kromoszóma RWC-ben játszott szerepét Teulat és mtsai. (2003) is leírták. Ennek ellenére a 4H kontroll relatív víztartalma egyik vizsgálati évben sem haladta meg az Mv9 kr1 őszi búzáét, míg a 6H és 6HS addíciók is csak 2012-ben adtak az Mv9 kr1-nél magasabb (0,32 és 3,4 %-kal) RWC értéket. 2011-ben a 6H és 6HS vonalak stresszkezelt növényeinek relatív víztartalma meghaladta az Mv9 kr1 búzáét, 2012-ben pedig a 4H addíció RWC értéke is a stresszkezelésben. A szárazságtűrő genotípusok képessége a fokozottabb vízfelvételre lehetővé teszi a fotoszintetikus folyamatok fenntartását (Hui-lian és Ishii 1996). Másfelől az RWC csökkenése az aktív ozmoreguláció eredményének is tudható (Hoffmann és mtsai. 2006). Egyes kutatások szerint a sótűrésben szerepet játszó, az ozmoreguláció szabályozásában részt vevő gének egy része a 4H kromoszómán található (Farshadfar és mtsai. 2008b), ami magyarázhatja a 4H addíció magasabb RWC értékét a stresszkezelésben. Handley és mtsai. (1994), valamint Molnár és mtsai. (2007) szerint a 4H kromoszóma szerepet játszik a vízhasznosító képesség (WUE) szabályozásában is. A 7H kromoszómának más szerzők szerint is szerepe lehet a szárazság alatt fenntartott magas RWC-ben (Teulat és mtsai. 1998; Teulat és mtsai. 2002; Bálint és mtsai. 2008), illetve sótressz esetén az

ozmoreguláció szabályozásában (Ellis és mtsai. 1997; Bálint és mtsai. 2008; Molnár és mtsai. 2007; Dulai és mtsai. 2011). Kísérleteinkben a fent leírtaktól eltérő eredményeket kaptunk. A 7H addíció relatív víztartalma, sztómakondunktanciája, fotoszintézise és termése is jelentős mértékben csökkent a vízhiány hatására.

A genotípusok szárazságtűrésének objektív összehasonlítására a nettó széndioxid-asszimiláció alkalmas mutató (Hoffmann és mtsai. 2006). A vízhiány a sztómák záródását okozza, amelynek következtében a növények széndioxid felvétele gátolódik, ezáltal csökkent a termés. A 2H vízhiányos növényei - bár magasabb sztómakonduktanciával rendelkeztek, mint a kontroll - az Mv9 kr1 búza szülőhöz képest kevesebb vizet veszítetek. A háttérben hatékonyabb ozmoreguláció állhat. A kisebb mértékű vízvesztés következtében a 2H és a 6H fotoszintetikus tevékenysége a kontroll növények szintjén maradt, amelynek eredményeképpen a vízhiány hatására az Mv9 kr1 búzánál kisebb mértékben csökkent a termésük. A többi vizsgált genotípusnál a nettó széndioxid asszimiláció kis mértékben csökkent a stressz hatására. A 4H addíció esetében csökkent a legnagyobb mértékben a sztómakonduktancia és a fotoszintézis, a sztómák zárásával tartotta fen a kedvező víztartalmát. Eredményeink megegyeznek Dulai és mtsai. (2011) által Asakaze komugi × Manas 4H addíciós vonalnál tapasztalt eredményekkel.

A virágzás után a széndioxid fixálásban bekövetkező depresszió esetén kiemelt szerepet kap a raktározott asszimiláták remobilizációja (Blum és mtsai. 1988). Egyes tanulmányok szerint a fokozottabb remobilizáció képessége szerep játszhat a terméspotenciál növelésében (Shearman és mtsai. 2005). A szerves anyagok remobilizációjának képessége befolyásolja a harvest index (HI) alakulását is. A 2011-es vizsgálati évben a 4H(4D) szubsztitúció HI-e volt a legnagyobb, mindkét kezelésben.

A szárazság-tolerancia indexek használatával a genotípusokat rangsorolni tudtuk a szárazságtűrés tekintetében. Az MP mindhárom kísérletben szoros kapcsolatot mutatott a terméssel kontroll és vízhiányos körülmények között is. Szabadföldi vizsgálatokban az MP és az STI, GMP és HM indikátorok között pozitív kapcsolat volt, míg a TOL-val negatív (32. táblázat). Az MP, STI, GMP és HM indexek rangsorrendje megegyezett a genotípusok között, ezek az indikátorok egymással erős korrelációs kapcsolatban ($P < 0,01$) voltak. A TOL az SSI és YSI indikátorokkal pozitív kapcsolatot mutatott mindhárom kísérletben. A kontroll és a stresszelt növények termésátlaga valamint az MP, STI, GMP és HM indikátorok, ill. a YSI és SSI közötti szignifikáns kapcsolatot több szárazságtolerancia indikátorokkal foglalkozó tanulmányban leírták (Farshadfar és mtsai. 2013; Nouri és mtsai. 2011; Farshadfar és Sutka 2002; Mohammadi és mtsai. 2010).

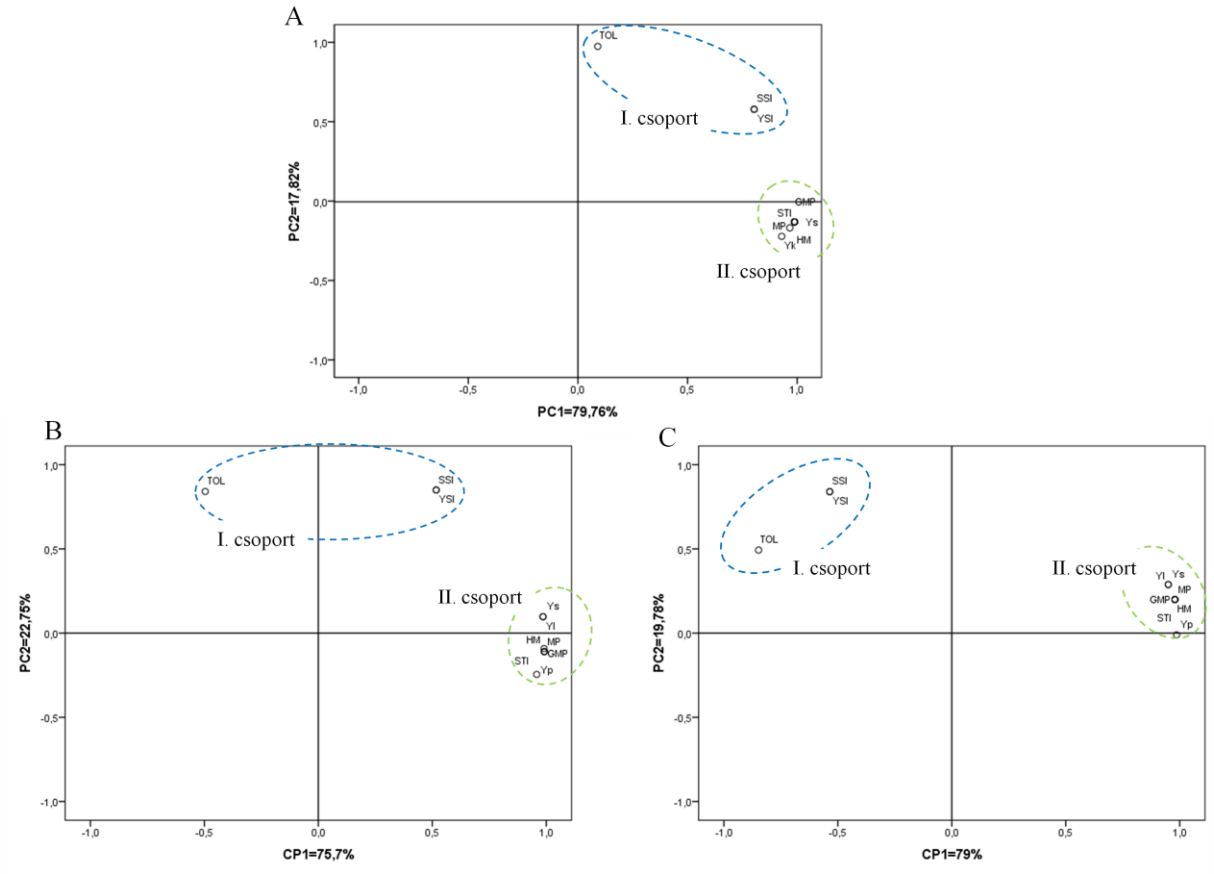
**32. táblázat:** A szárazságtolerancia indexek Spearman féle korrelációs koefficiens értékei.

| | Yp | Ys | SSI | STI | TOL | MP | HM | GMP | YSI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tenyészedényes kísérlet, 2012** | | | | | | | | | |
| **Ys** | 0,93** | | | | | | | | |
| **SSI** | 0,61 | 0,71 | | | | | | | |
| **STI** | 0,93** | 1,00** | 0,71 | | | | | | |
| **TOL** | -0,11 | -0,04 | 0,61 | -0,04 | | | | | |
| **MP** | 0,96** | 0,96** | 0,68 | 0,96** | -0,07 | | | | |
| **HM** | 0,93** | 1,00** | 0,71 | 1,00** | -0,04 | 0,96** | | | |
| **GMP** | 0,93** | 1,00** | 0,71 | 1,00** | -0,04 | 0,96** | 1,00** | | |
| **YSI** | 0,61 | 0,71 | 1,00** | 0,71 | 0,61 | 0,68 | 0,71 | 1,00 | |
| **YI** | 0,93** | 1,00** | 0,71 | 1,00** | -0,04 | 0,96** | 1,00** | 0,71 | 0,71 |
| **Szabadföldi kísérlet, 2011** | | | | | | | | | |
| **Ys** | 0,91** | | | | | | | | |
| **SSI** | 0,29 | 0,59* | | | | | | | |
| **STI** | 0,98** | 0,96** | 0,42 | | | | | | |
| **TOL** | -0,68** | -0,41 | 0,44 | -0,57* | | | | | |
| **MP** | 0,98** | 0,96** | 0,42 | 1,00** | -0,57* | | | | |
| **HM** | 0,96** | 0,96** | 0,43 | 0,996** | -0,56* | 0,996** | | | |
| **GMP** | 0,98** | 0,96** | 0,42 | 1,000** | -0,57* | 1,00** | 0,996** | | |
| **YSI** | 0,29 | 0,59* | 1,00** | 0,42 | 0,44 | 0,42 | 0,43 | 0,42 | |
| **YI** | 0,91** | 1,00** | 0,59* | 0,96** | -0,41 | 0,96** | 0,96** | 0,96** | 0,59* |
| **Szabadföldi kísérlet, 2012** | | | | | | | | | |
| **Ys** | 0,92** | | | | | | | | |
| **SSI** | -0,53 | -0,27 | | | | | | | |
| **STI** | 0,96** | 0,98** | -0,36 | | | | | | |
| **TOL** | -0,86** | -0,65* | 0,85** | -0,73** | | | | | |
| **MP** | 0,96** | 0,98** | -0,36 | 1,00** | -0,73** | | | | |
| **HM** | 0,96** | 0,98** | -0,36 | 1,00** | -0,73** | 1,00** | | | |
| **GMP** | 0,96** | 0,98** | -0,36 | 1,00** | -0,73** | 1,00** | 1,00** | | |
| **YSI** | -0,53 | -0,27 | 1,00** | -0,36 | 0,85** | -0,36 | -0,36 | -0,36 | |
| **YI** | 0,92** | 1,00** | -0,27 | 0,98** | -0,65* | 0,98** | 0,98** | 0,98** | -0,27 |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns P < 0,05; 0,01 szinten.
Yp: kontroll termés; Ys: stressz termés; SSI: stressz érzékenységi index; STI: stressz tolerancia index; TOL: tolerancia; MP: átlagos termékenység; HM: harmonikus átlag; GMP: geometrikus átlagos termékenység; YSI: termés stabilitási index; YI: termés index.

Az indikátorok közötti kapcsolatot szemlélteti a rangsorrendeken alapuló főkomponens analízis (24. ábra), amely alapján a szárazságtűrő, vízhiányt toleráló, ill. érzékeny genotípusok megkülönböztethetőek. Szabadföldi kísérletekben az első két főkomponens a teljes variancia 98,45-98,78 %-át adta, míg a tenyészedényes vizsgálatban 97,58 %-ot. A főkomponens analízis eredménye alapján a szárazság tolerancia indexek két fő csoportba oszthatóak. Az I. csoportba a TOL, YSI és SSI tartozik, míg a II. csoportba az MP STI, GMP és HM. Az I. csoportba tartozó indikátorokkal jól megkülönböztethetőek a szárazságtűrő (Fischer és Maurer 1978; Mohammadi és mtsai. 2010), de alacsony termőképességgel rendelkező genotípusok. Ezzel szemben a II. csoportba a szárazságot jól toleráló, nagy terméspotenciállal rendelkező genotípusok sorolhatók (Fernandez 1992; Mohammadi és mtsai. 2003). A nagy terméspotenciállal rendelkező fajták termésmennyisége stressz hatására általában nagyobb arányban csökken (Blum 2005). Azonban ezeknek a genotípusoknak a termése csak nagyon

erős stressz hatására alacsonyabb, mint a szárazsághoz alkalmazkodott, de alacsonyabb termőképességű genotípusoké. Agronómiai szempontból a termés biztonság (a stressz hatásra is csak kis mértékű termésdepresszió) az egyik legfontosabb szárazságtűrést jelző tulajdonság (Guttieri és mtsai. 2001). A vízhiány okozta csökkenés mellett a termés mennyiségének abszolút értéke még nagyobb jelentőségű, ezért a II. csoportban kell keresnünk a növénynemesítés számára értékes genotípusokat.




**24. ábra:** A szárazságtolerancia indexek rangsorrendjén alapuló főkomponens analízis eredménye, tenyészedényes kísérletben, 2012, Martonvásár (A); szabadföldi kísérletben 2011 (B) és 2012 (C), Keszthely. A magas PC1 értékű indexekkel, a nagy terméspotenciállal rendelkező genotípusok, míg a magas PC2 értékű indexekkel a szárazságtűrő genotípusok választhatóak ki.

A szabadföldi kísérletekben az STI, MP, GMP és YI tolerancia indexek alapján a 2H, 3H és 3HS.3BL genotípusokat a vízhiányt tolerálónak találtuk. Míg az alacsony SSI, TOL és YSI érétkekkel rendelkező 4H, 4H(4D) és 6HS vonalak szárazságtűrőek. Tenyészedényes kísérletekben a szűk tenyészterület miatt genotípusok közötti potenciális termőképességbeli különbség nem tud megmutatkozni, ezért nem volt különbség a két indikátor csoport rangsorában, mindegyikben a 4H addíció szerepelt a rangsor elején. Farshadfar és mtsai. (2008a) szerint a 4H árpa kromoszómán elhelyezkedő gének az STI-t is befolyásolják.

Tenyészedényes és szabadföldi vizsgálataink eredménye alapján a 4H, ill. 6HS kromoszóma jelenléte szárazságtűrést eredményez, azonban ezeket a kromoszómákat tartalmazó vonalak termőképessége kisebb. A 4H kromoszóma szárazságtűrésben játszó szerepéről több tanulmány is beszámolt már (Farshadfar és Sutka 2002; Farshadfar és mtsai 2008b; Dulai és mtsai. 2011).

## 5.3. Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülésének lehetőségét célzó vizsgálatok

### 5.3.1. Lisztharmat fertőzés mértékének felmérése a szabadföldi állományban

A lisztharmat gomba tüneteit mindegyik genotípusnál detektáltuk (33. táblázat, 25. ábra). Az Mv9 kr1 őszi búzán és a 4H addíciós vonal fogékonynak bizonyult a betegséggel szemben (60 ill. 70 %-os fertőzöttség jún. 3.-ára). Az Igri árpa és a 4H zászlósleveleinek fertőzöttsége volt a legsúlyosabb (80 %). A 6H addíciós levelein nem láttuk a betegség tüneteit, csupán elszórva találtunk sporuláló micéliumot a száron. A 4H(4D) szubsztitúció, 2H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS és 6B-4H transzlokáció zászlóslevelén a fertőzés mértéke 5 % volt, míg az Mv9 kr1 zászlóslevelének 60 %-án jelentkeztek a tünetek.

**33. táblázat:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek lisztharmatfertőzés súlyosságának alakulása szabadföldi kísérletben (2012, Keszthely).

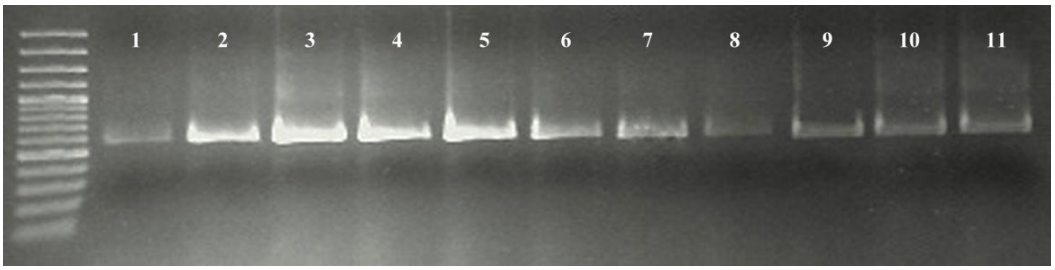
| Genotípus | 2012. május 4. | | 2012. május 9. | | 2012. május 18. | | 2012. június 3. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | IA, % | S. és P. skála | IA, % | S. és P. skála | IA, % | S. és P. skála | IA, % | S. és P. skála | zászlóslevél IA, % |
| **2H** | 30 | 6 | 40 | 6 | 50 | 6 | 50 | 7 | 5 |
| **3H** | 20 | 5 | 30 | 7 | 40 | 7 | 50 | 8 | 40 |
| **4H** | 40 | 7 | 40 | 7 | 60 | 7 | 70 | 8 | 80 |
| **6H** | < 5 | 1 | < 5 | 1 | < 5 | 1 | < 5 | 1 | 0 |
| **6HS** | 10 | 4 | 20 | 6 | 20 | 6 | 30 | 7 | 5 |
| **7H** | 20 | 4 | 20 | 6 | 20 | 6 | 30 | 7 | 5 |
| **7D-5HS** | 10 | 4 | 20 | 6 | 20 | 6 | 30 | 7 | 5 |
| **6B-4H** | 10 | 4 | 20 | 6 | 20 | 6 | 30 | 7 | 5 |
| **3HS.3BL** | 40 | 7 | 40 | 7 | 50 | 7 | 50 | 8 | 40 |
| **4H(4D)** | 10 | 3 | 10 | 3 | 20 | 6 | 20 | 7 | 5 |
| **Mv9 kr1** | 40 | 5 | 40 | 6 | 50 | 6 | 60 | 8 | 60 |
| **Igri** | 10 | 4 | 10 | 4 | 20 | 6 | 30 | 8 | 80 |

IA: az egész növény fertőzöttségének mértéke; S. és P. skála: fertőzés mértéke Saari és Prescott skála szerint; zászlóslevél IA: zászlóslevél fertőzöttségének mértéke.
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

**25. ábra: a:** *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* izolátum tünetei a 4H addíciós vonal levelein, szabadföldön. **b:** Lisztharmat micélium és konidiumok a fertőzött levélen (sztereomikroszkópos felvétel, 15×-ös nagyításban). **c:** Lisztharmat fertőzés tünetei a zászlósleveleken. A=4H(4D) szubsztitúció; B=2H, C= 3H, D=4H, E=7H, F=6HS addíció; G=3BL.3HS, H=6B-4H, I=7D-5HS transzlokáció; J=Mv9kr1 búza; K=Igri árpa. Fotók: saját felvétel (a), Dr. Varga Ildikó (b,c).

### 5.3.2. Molekuláris genetikai vizsgálatok

A diPCR amplifikáció során egyetlen 562 bp hosszú terméket szaporítottunk fel (26. ábra). Nem azonosítottunk paralóg lókuszokból származó alternatív ITS-kópiát, ami azt mutatja, hogy az izolátumok azonosítása domináns ortológ ribotípusokon alapult. A White és mtsai. (1990) által leírt primerekkel csak a gomba szekvenciáit detektáltuk. A szekvenált izolátumokban nem találtunk különbséget, ezért feltehetően ugyanaz a haplotípus természetes fertőzéséről van szó. Az Mv9 kr1 búzáról és a búza-árpa introgressziós vonalakról származó minták BLAST keresése 100 %-os egyezést adott a *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Walker és mtsai. (2011) által deponált 14 (HM484334) izolátumra, míg az Igri árpa mintái a *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* Inuma és mtsai. (2007) által deponált MUMH1723 (AB 273556) izolátumával (34. táblázat).



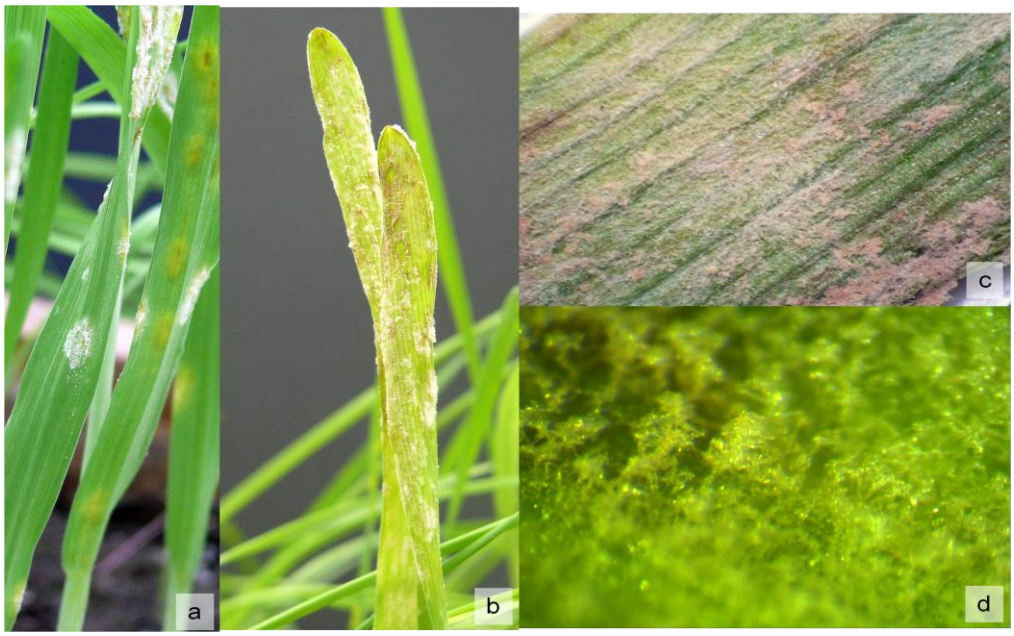

**26. ábra:** A PCR amplifikáció során felszaporított sejtmagi riboszómális DNS ITS-régió, amely 562 bp hosszú tiszta fragmentet mutat. 1=7D-5HS transl.; 2=3H add.; 3=4H(4D) subs.; 4=2H add.; 5=7H add.; 6=6HS add.; 7=Igri árpa; 8=4H add.; 9=Mv9 kr1 búza; 10=3HS.3BL transl.; 11=6B-4H transl.

**34. táblázat:** A vizsgálat során azonosított *Blumeria graminis* izolátumok és a szekvenciájuk azonosítószáma.

| Izolátum minták gazdanövénye | Izolátum eredeti gazdanövénye | GenBank azonosítószám | Irodalom |
|---|---|---|---|
| *Triticum aestivum* | *Triticum aestivum* (izolátum: 14) | HM484334 | Walker et al. 2011 |
| *T. aestivum* L. × *H.vulgare* introgressziós vonalak | *Triticum aestivum* (izolátum: 14) | HM484334 | Walker et al. 2011 |
| *Hordeum vulgare* | *Hordeum distichum* (izolátum: MUMH1723) | AB273556 | Inuma et al. 2007 |

### 5.3.3. Direkt fertőzési vizsgálatok

Kísérletünkben a *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* A6 és BP erősen sporulált az Igri árpa szülő levelein (27. ábra) a mesterséges fertőzés hatására, azonban nem fertőzte a búza-árpa keresztezésből származó vonalakat és az Mv9 kr1 búza szülőt (28. ábra).




**27. ábra:** *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* A6 (a) és BP (b) izolátumok az Igri őszi árpa szülő fertőzött levelein. A BP izolátum micéliumának sztereómikroszkópos képe 15x (c) és 70x (d) nagyításban. Saját felvétel.

**28. ábra:** Búza-árpa introgressziós vonalak és a szülőpartnerek *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* izolátumok direkt fertőzés vizsgálata izolátor ládában, üvegházban (2012, Martonvásár). Mind az A6, mind a BP izolátumok fertőzték az Igri árpát (nyilak), azonban az introgressziós vonalakon és az Mv9 kr1 búzán nem láthatók tünetek. Saját felvétel.

### 5.3.4. Árpalisztharmat gazdanövénykör bővülését célzó vizsgálatok értékelése

Vizsgálataink szerint a *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* nem képes megfertőzni a búza-árpa keresztezésből származó növényeket, azonban *B. g.* f.sp. *tritici* igen. A búza-árpa introgressziós vonalak eltérő érzékenységgel rendelkeznek a *B. g.* f.sp. *tritici* 14-es izolátumával szemben, annak ellenére, hogy az Mv9 kr1 búza szülő erősen fogékony a betegségre. A vizsgálat során az Igri őszi árpán azonosított *B. g.* f.sp. *hordei* MUMH1723 (AB 273556) izolátumát Inuma és mtsai. (2007) Iránban gyűjtött mintákon írta le.

Eredményeink alapján az egyes árpa kromoszómák, illetve kromoszóma szegmentumok jelenléte nem elegendő ahhoz, hogy az árpalisztharmat képes legyen fertőzni, így nem okozzák annak gazdanövénykör bővülését. A lisztharmat gombák gazdanövényeinek

interspecifikus hibridizációból eredő gazdanövénykör bővülésének lehetőségével több tanulmány is foglalkozott már. A legjelentősebb intergenetikus hibrid a tritikálé (× *Triticosecale* Wittmack), amelynek vetésterülete 2000 óta megkétszereződött. A vetésterület kiterjedésével a tritikálé, mint új lisztharmat gazdanövény jelent meg Európa szerte (Walker és mtsai. 2011; Troch és mtsai. 2012; Klocke és mtsai. 2013). Troch és mtsai. (2012) által begyűjtött különböző országokból származó *B. g.* f.sp. *tritici* izolátumból 40 izolátum volt képes fertőzni a tritikálét (új gazdanövény) és búzát (eredeti gazdanövény) is, és 14 rendelkezett kizárólag csak a tritikálét megbetegítő virulencia képességgel.

Az általunk vizsgált búza-árpa introgressziós vonalak értékes agronómiai tulajdonságokkal rendelkeznek (szárazságtűrés, koraiság, magas gyökér-hajtás arány). Az előnyös tulajdonságok elősegíthetik bizonyos árpa kromoszómák (szegmentumok) elterjedését a nemesítési alapanyagokban – ahogyan az 1BL.1RS transzlokácó is elterjedt (Singh és mtsai. 1998; Kőszegi és mtsai. 2000; Hoffmann 2008), amely eredményezheti a kórokozó szelekciós nyomásának növekedését.

Eredményeink szerint az árpa kromoszómák, illetve kromoszóma szegmentumok nem eredményezik a *B. g.* f.sp. *hordei* gazdanövénykörének bővülését, azonban a vizsgált vonalakon csökkent a *B. g.* f.sp. *tritici* fertőzés mértéke. Ennek fényében az árpa kromoszómák nemesítési anyagokba vitele lehetőséget adhat a lisztharmattal szembeni fogékonyság csökkentésére az új kenyér búza genotípusokban.

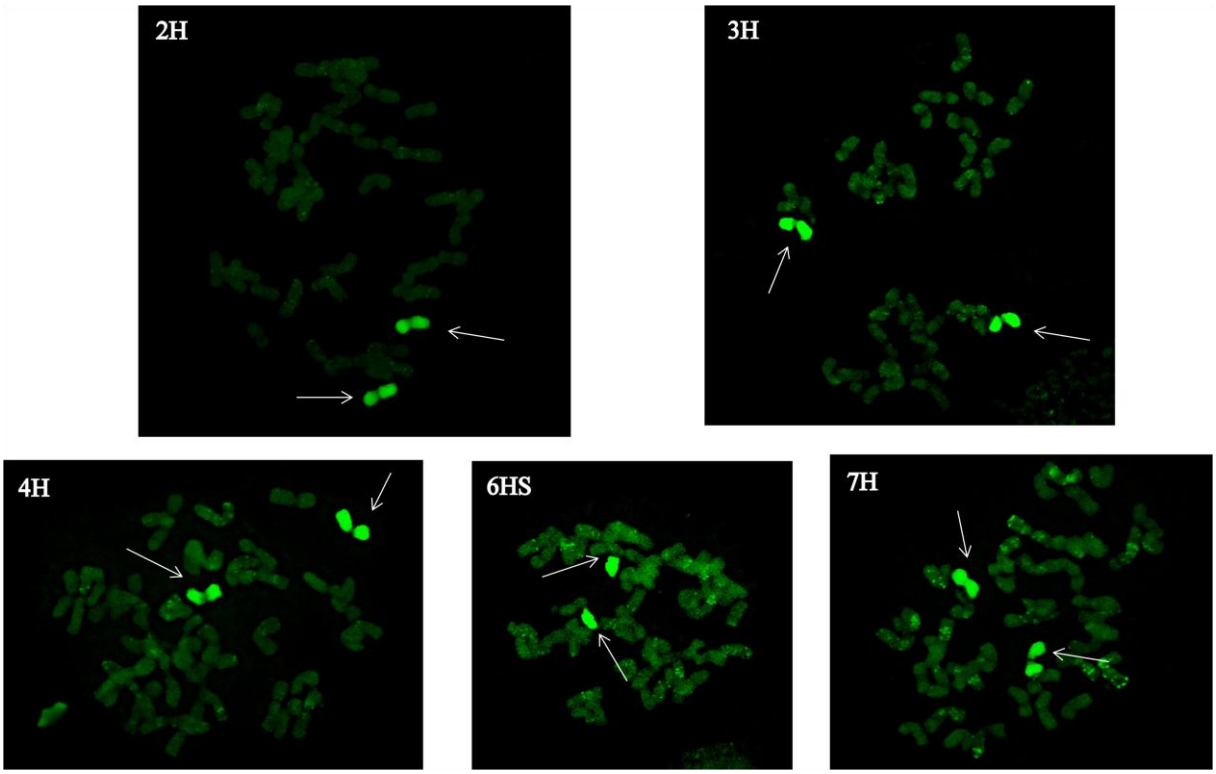
## 5.4 Molekuláris citogenetikai vizsgálatok

### 5.4.1 Addíciós vonalak citogenetikai ellenőrzése

Megfigyeléseink szerint a vizsgált növényekben mindegyikében kimutatható volt mindkét 2H és 3H kromoszóma (35. táblázat, 29. ábra). A 4H kromoszóma a vizsgált növények 80,6 %-ánál volt diszómás (44 kromoszóma), 9,7 % volt monoszómás (43 kromoszóma) és 9,7 % esetében teljesen hiányzott az árpa kromoszóma (42 kromoszóma volt jelen). A 6HS addíciós vonalnál találtuk a legkevesebb disszómás (78,4 %) és a legtöbb monoszómás (16,2%) növényt, egy növénynél pedig 4 db kromoszóma volt megfigyelhető, amely üvegházban felnevelve nem érlelt be szemet. A 7H addíció esetében a növények 96,9 %-a maradt diszómás.

**35. táblázat:** Mv9 kr1 × Igri keresztezésből származó addíciós vonalak citológiai vizsgálata során 1 pár árpakromoszómát tartalmazó növények, az ellenőrzött egyedek százalékában (2011, Martonvásár).

| Genotípus | Diszómás növények, % | Monoszómás növények, % | Árpa kromoszómát nem tartalmazó növények, % |
|---|---|---|---|
| 2H | 100 | 0 | 0 |
| 3H | 100 | 0 | 0 |
| 4H | 80,6 | 9,7 | 9,7 |
| 6HS | 78,4 | 16,2 | 2,7 |
| 7H | 96,9 | 0 | 3,1 |




**29. ábra:** Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak kromoszómái, az árpa kromoszómák élénk zöldek (nyilak). Saját felvétel.

### 5.4.2 Eltérő morfológiájú egyedek ellenőrzése

A 2010-2011-ben végzett szabadföldi kísérlet során a következő eltéréseket figyeltük meg:

1. 2H addíciós vonal stresszelt növényállományában egy az átlagnál alacsonyabb (56,6 cm), hosszú szálkás kalászú növényt.
2. 7H addíció esetében a kontroll kezelésben az átlagnál magasabb (80,4 cm), hosszú szálkás kalászú növényt.
3. 4H (4D) szubsztitúciónál mindkét kezelésben, összesen 4 db eltérő morfológiájú növényt találtunk.

3.1. A kontroll növények átlagánál magasabb (84,4 cm), eltérő kalászalakú (keskeny) növényt. A kalász hosszú szálkás, az átlagnál hosszabb, a szemszám az átlagnál több (181 db/növény) volt.

3.2. Szintén a kontroll állományban figyeltük meg, egy az átlagnál magasabb (90,1 cm), keskeny kalászú növényt. A kalászok sterilek maradtak, ezért a citológiai vizsgálatot nem tudtuk elvégezni.

3.3. A stresszelt növények átlagos magasságát mutató növény, kalásza hosszabb (8,7 cm), szemszáma az átlagnál kevesebb (52 db/ növény) volt.

3.4. A negyedik megfigyelt növény a stresszkezelésben a legmagasabb (107 cm) volt, jellegzetes rövid, bunkós kalászokkal.

4. A 6B-4H kontroll állományában az átlagnál hosszabb kalászú egyedet figyeltünk meg. Virágzáskor a portokok antociános elszíneződésűek voltak. A kalászok sterilek maradtak, ezért a citológiai vizsgálatot nem tudtuk elvégezni.

**30. ábra:** 6B-4H transzlokáció antociános elszíneződésű portokjai (2011, Keszthely). Saját felvétel.

A citológiai vizsgálatok eredményei szerint a 2H addíciónál mindkét teljes árpa kromoszóma jelen volt (36. táblázat). A 7H addíciós vonal esetében eliminálódott a kromoszóma. A 4H(4D) szubsztitúció morfológiai változásai pedig a monoszóma, ill. az árpa kromoszóma hiányából eredtek.

**36. táblázat:** Eltérő morfológiájú egyedek citológiai vizsgálatának eredménye

| Genotípus | | Citológiai vizsgálat eredménye |
|---|---|---|
| 1 | 2H | diszómás |
| 2 | 7H | nincs benne árpa kromoszóma |
| 3.1 | 4H(4D) | monoszómás |
| 3.2 | | - |
| 3.3 | | nincs benne árpa kromoszóma |
| 3.4 | | monoszómás |

### 5.4.3 Citológiai vizsgálatok értékelése

Az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak citológiai vizsgálata szerint a 2H és 3H kromoszóma volt legstabilabban jelen és a 7H addíciós vonal is jó stabilitást mutatott. A 4H kromoszóma eliminálódott teljesen a leggyakrabban, míg a 6HS addíció esetében találtuk a legkevesebb diszómás növényt. Eredményeink megegyeznek Szakács és Molnár-Láng (2010) megfigyeléseivel, kivételt képez a 6HS, amelynek stabilitását 90 %-osnak találták. Ezzel szemben Molnár-Láng és mtsai. (1996a) vizsgálataiban a 6HS kromoszóma csupán 50 %-os stabilitást mutatott. Islam és mtsai. (1981) Chinese Spring × Betzes addíciós vonalak közül egyiket sem tartotta citológiailag teljesen stabilnak, a legkevésbé az 5H és 4H kromoszómát.

Az idegen kromoszóma jelenléte jellegzetes morfológiai bélyegeket eredményez, amelynek hiányából következtetni lehet a kromoszómaszám, ill. kromoszóma szerkezet változására. A szabadföldi növényanyagban talált eltérő morfológiájú egyedek citológiai vizsgálatával elsősorban nem a kromoszómák stabilitásának kimutatatása volt a cél, hanem az esetleges spontán kromoszóma átrendeződések keresése. Azonban az eltérő morfológiájú egyedek a legtöbb esetben az egyik vagy a teljes árpa kromoszóma hiányából eredtek.

Megfigyeléseink megfelelnek azoknak az eredményeknek, amelyek szerint az idegen kromoszómák eltérő gyakorisággal eliminálódnak a búzagenomból (Taketa és mtsai. 1995; Molnár-Láng és mtsai. 2005; Szakács és Lángné-Molnár 2009), és ezeknek az anyagoknak a fenntartásához folyamatos citológiai kontroll szükséges.

# 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A búza (*Triticum aestivum* L) és az árpa (*Hordeum vulgare* L.) a két legfontosabb és legértékesebb kalászos gabonanövényünk. Az árpa számos, agronómiai szempontból kedvező tulajdonsággal rendelkezik (pl.: szárazság- és só tolerancia, koraiság, kedvezőbb táplálkozási értékek stb.), így potenciális forrást jelent a búza nemesítésében. A két faj keresztezése a XX. sz. eleje óta foglalkoztatja a kutatókat. Az előállított árpa-búza, ill. búza-árpa vonalakat főként citológiai szempontból értékelték és fertilitásukat vizsgálták. A Martonvásáron létrehozott búza-árpa keresztezésből származó növényekkel korábban végeztek morfológiai vizsgálatokat, azonban kevés információ áll rendelkezésünkre arról, hogy az árpa kromoszómák milyen hatással vannak a búza agronómiai tulajdonságaira – különös tekintettel a szárazságtűrésére – szabadföldi körülmények között.

A doktori munka során az MTA-ATK Mezőgazdasági Intézetben létrehozott Mv9 kr1 × Igri addíciós és transzlokációs vonalakat, valamint (Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1 addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalakat vizsgáltuk. Célunk az árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatásának tanulmányozása volt az őszi búza értékmérő tulajdonságaira, és kiemelten a szárazságtűrésére. A tritikálé lisztharmat (*Blumeria graminis*) gazdanövénykörének bővülésében játszott szerepe felhívta a figyelmünket az intergenerikus hibridek ilyen jellegű hatására. Ezért vizsgáltuk a búza-árpa keresztezéséből származó vonalak árpalisztharmattal szembeni fogékonyságát is. A fajhibridek fenntartása állandó citológiai kontrollt igényel, így munkánk során ellenőriztük az addíciós vonalak stabilitását, valamint a morfológiailag eltérő egyedek kromoszómaszámának változását.

A korai egyedfejlődés vizsgálata során az árpa kromoszómák, illetve kromoszóma szegmentumok hatását figyeltük meg a csíranövények fejlődésére, illetve a fejlődés ütemére. A rügyecske növekedését a 2H, 3H és 3HS árpa kromoszóma befolyásolta, míg a gyököcske növekedését a 2H, 4H, 6HS és a 7H árpa kromoszóma (37. táblázat/A). A rügyecske és a gyököcske tömegét növelte a 3H és az 5H árpa kromoszóma rövid karjának jelenléte.

Mind a tenyészedényes, mind a szabadföldi kísérleteinkben az árpa kromoszómák virágzás és érés időre gyakorolt hatása megegyezik az irodalomban található adatokkal. A vizsgált genotípusok közül legkorábbi a 7H addíció, míg a legkésőbbi a 4H volt. Az Mv9 kr1 őszi búzánál egyedül a 7H virágzott korábban, a 2H, 3H és 4H vonal pedig későbbi volt (37. táblázat/B).

A levélfelületet növelte 2H kromoszóma jelenléte, míg csökkentette az 5HS és a 7H. A 3H, 4H és a 4H(4D) vonal levélfelülete az Mv9 kr1 búza szülőhöz hasonló volt (37. táblázat/C). A 2H és a 7H kromoszómák hatására a levelek keskenyebbé váltak, míg a 6HS addíciója az Mv9 kr1 szülőénél szélesebb leveleket eredményezett.

A búza-árpa vonalak főkalásza szignifikánsan rövidebb volt az Mv9 kr1 búza szülőénél. Kivéve a 2H addíció, amelynek főkalásza szignifikánsan hosszabb volt, azonban ennek a genotípusnak volt a legkisebb kalász tömöttségi értéke. Az introgressziós vonalak közül a 4H(4D) kalásza volt a legrövidebb, tömöttsége pedig a legnagyobb. A 6B-4H transzlokációnál három különböző kalászalakú növény jelent meg: rövid szálkacsonkos, hosszú szálkás, valamint tar kalász, amelyek egyéb tulajdonságaikban (magasság, szemszám, termés) nem különböztek. Az eltérő kalászalakú növények esetében a molekuláris citológiai vizsgálatok nem mutattak különbséget.

A 6B-4H, 4H(4D) és 7H gyengébb volt a fertilitása (szem/kalászka), míg a 4H és 3HS.3BL vonalaknak szignifikánsan jobb volt az Mv9 kr1 búzához képest. A 4H addíció esetében mind a tenyészedényes, mind a szabadföldi vizsgálatokban többlet kalászka (SS) gyakori előfordulását tapasztaltuk. A többlet kalászkákban fejlődő szemek növelték a szemszámot, azonban csökkentették az ezerszemtömeget, ezért a 4H vonal termése nem volt magasabb az Mv9 kr1 őszi búzáénál egy vizsgálatban sem.

A 3H, 7H, 3HS.3BL és a 4H(4D) jobb bokrosodó képességgel rendelkezett (37. táblázat/C), míg a többi vizsgált búza-árpa introgressziós vonal produktív bokrosodása az Mv9 kr1 őszi búza szülőhöz hasonlóan alakult. A 3H addíció bokrosodó képessége csak a szabadföldi vizsgálatainkban érvényesült. A 3H kromoszóma hatására magasabb szemszámot és termést adtak a növények. Ezzel szemben, a 7H addíciós vonal gyenge fertilitása miatt a legkevesebb szemszámot és termést hozta a vizsgált búza-árpa hibridek közül. A 6B-4H transzlokáció esetében 2011-ben a legkevesebb, míg 2012-ben a második legkevesebb termést mértük, amely a kevés szemszámból és alacsony ezerszemtömegből adódhatott.

A búza-árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének vizsgálata során tenyészedényben a kifejlett növény gyökérzetének alakulását vizsgáltuk. A martonvásári üvegházban az Mv9 kr1 × Igri keresztezésből származó addíciós vonalak közül a 2H, 3H és 6HS gyökértömege csökkent a mérsékelt vízhiány hatására, míg a 4H és a 7H vonalé növekedett (38. táblázat). Keszthelyi kísérletünkben az erősebb stressz hatására a vizsgált 4H, 4H(4D) és 3HS.3BL vonal gyökértömege csökkent. Mindkét vizsgálatban a termés- és a biomassza csökkenés mértéke nagyobb volt, mint a gyökértömeg csökkenése.

**37. táblázat:** Árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatása a búza-árpa inrogressziós vonalak fenotipizálása során vizsgált tulajdonságokra.

A)

| Genotípus | Rügyecskehossz | Gyököcskehossz | Rügyecske tömege | Gyököcske tömege |
|---|---|---|---|---|
| **2H** | + * | + NS | + * | - * |
| **3H** | + * | ± | + * | ± |
| **3BL.3HS** | + * | + NS | + * | + * |
| **4H** | + NS | +* kezdetben | ± | ± |
| **4H(4D)** | ± | +* kezdetben | ± | ± |
| **6B-4H** | - NS | - * | + * | ± |
| **6H** | ± | - * | ± | - * |
| **6HS** | + NS | - * | + NS | ± |
| **7D-5HS** | + NS | + NS | + * | + NS |
| **7H** | + * | - * | + * | ± |

B)

| Genotípus | Virágzási idő | Szemtelítődés | Érésidő |
|---|---|---|---|
| **2H** | + * | - * | ± |
| **3H** | + * | ± | + * |
| **4H** | + * | - * | + * |
| **6HS** | + NS | - * | - * |
| **7H** | - * | ± | - * |

C)

| Genotípus | Levélfelület | Kalászhossz | Kalász/növény | Szemszám | Termés |
|---|---|---|---|---|---|
| **2H** | + * | + * | + NS | + * | ± |
| **3H** | ± | - * | + * | + * | + * |
| **3BL.3HS** | - * | - * | + NS | + * | + * |
| **4H** | ± | - * | - NS | ± | - NS |
| **4H(4D)** | ± | - * | + NS | ± | - * |
| **6B-4H** | - * | - * | ± | - * | - * |
| **6H** | - NS | - * | ± | - * | - * |
| **6HS** | ± | - * | - NS | ± | - * |
| **7D-5HS** | - * | - * | + NS | ± | - NS |
| **7H** | - * | - * | + * | - * | - * |

Megjegyzés: * szignifikáns különbséget jelzi az Mv9 kr1 búza szülőtől, $P < 0,05$ szinten, Duncan teszt alapján.
+ nőtt, ill. későbbre tolódott; - csökkent, ill. korábbra került, ± nem változott
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

Szabadföldi vizsgálataink során, a vízhiányos növények közül a 2H, 3H, 4H, 6H és 6HS vonalaknál magas relatív víztartalmat (RWC) mértünk. A 7H addíció RWC-je, sztómakondunktanciája, fotoszintézise is jelentős mértékben csökkent a vízhiány hatására.

A stresszkezelésben a 2H és a 6H vonalak sztómakonduktenciája nem csökkent, fotoszintetézisük pedig a kontroll növények szintjén maradt fenn, amelynek eredményeképpen a vízhiány hatására az Mv9 kr1 búzánál kisebb mértékű volt a termésveszteségük. A többi vizsgált genotípusnál a nettó széndioxid asszimiláció kevésbé változott a stressz hatására. A 4H addíció esetében csökkent a legnagyobb mértékben a sztómakonduktancia és a fotoszintézis, ennek ellenére ennek a genotípusnak a termésvesztesége minimális volt.

A STI, MP, GMP és YI szárazságtolerancia indexek alapján a 2H, 3H és 3HS.3BL a vízhiányt toleráló genotípusoknak találtuk, amelyek nagy termőképességgel rendelkeznek. A vízhiány hatására ezeknek a vonalaknak a termése csökkent a legjobban, azonban így is meghaladta az Mv9 kr1 búza stresszkezelésben mért termését. Az alacsony SSI, TOL és YSI értékekkel rendelkező 4H, 4H(4D) és 6HS vonalak szárazságtűrőnek bizonyultak, azonban termőképességük elmaradt az Mv9 kr1 búzához képest (38. táblázat).

**38. táblázat:** Árpa kromoszómák, ill. kromoszóma szegmentumok hatása a búza-árpa inrogressziós vonalak egyes vizsgált tulajdonságokra vízhiányos körülmények között.

| | Gyökértömeg | | Szemszám csökkenésének mértéke, % | | Termés csökkenésének mértéke, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Genotípus** | **mérsékelt stressz** | **erős stressz** | **2011** | **2012** | **2011** | **2012** |
| **2H** | - * | na. | 28,12** | 13,92 | 21,62* | 14,93 |
| **3H** | - * | na. | 48,92** | 38,84** | 45,24** | 39,98** |
| **3BL.3HS** | na. | - NS | 45,35** | 17,18 | 45,34** | 20,29 |
| **4H** | + NS | - NS | 4,60 | 9,66 | 19,56 | 5,95 |
| **4H(4D)** | na. | - * | 10,10 | 11,58 | 5,31 | 12,12 |
| **6B-4H** | na. | na. | 49,10* | 6,16 | 45,28* | 11,75 |
| **6H** | na. | na. | 20,03 | 8,11 | 25,05 | 16,40 |
| **6HS** | - NS | na. | 33,79** | 3,46 | 6,54 | 2,43 |
| **7D-5HS** | na. | na. | 52,36** | 19,09 | 39,90** | 26,10** |
| **7H** | + NS | na. | 14,36 | 24,68** | 26,62 | 21,17* |

Megjegyzés: * és ** szignifikáns különbséget jelzi a kezelések között, P < 0,05; 0,01 szinten, t-próba alapján.
+ nőtt, ill. későbbre tolódott; - csökkent, ill. korábbra került, ± nem változott
Mv9 kr1 × Igri: 2H, 3H, 4H, 6HS, 7H addíció, 7D-5HS transzlokáció;
(Chinese Spring × Betzes) × Mv9 kr1: 4H(4D) szubsztitúció, 3HS.3BL, 6B-4H transzlokáció.

Az árpa lisztharmat direktfertőzési kísérlet eredménye szerint a *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* nem képes megfertőzni a búza-árpa keresztezésből származó növényeket. Azonban a szabadföldi, természetes lisztharmatfertőzés során azonosított *B. g.* f.sp. *tritici* igen, bár eltérő mértékben. A 4H addíciós vonal fogékony volt a betegséggel szemben, míg a 6H addíció levelein nem jelentkeztek a tűnetek, csupán a száron elszórva találtunk néhány lisztharmat telepet.

Az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak citológiai vizsgálata szerint a 2H és 3H kromoszóma volt legstabilabban jelen és a 7H addíciós vonal is jó stabilitást mutatott. A 4H kromoszóma eliminálódott teljesen a leggyakrabban, míg a 6HS addíció esetében találtuk a legkevesebb diszómás növényt. Az eltérő morfológiájú egyedek megjelenését az árpa kromoszóma teljes vagy részbeni eliminálódása okozta.

# 7. TÉZISPONTOK

## 7.1 Tézispontok magyarul

1) A korai egyedfejlődés során a rügyecske növekedését a 2H, 3H és 3HS árpa kromoszóma befolyásolta, míg a gyököcske növekedésére a 2H, 4H, 6HS és a 7H árpa kromoszóma jelenléte volt hatással. A rügyecske és a gyököcske tömegét növelte a 3H és az 5H árpa kromoszóma rövid karjának jelenléte. A 7H kromoszóma korábbi, míg a 2H, 3H és 4H jelenléte későbbi virágzást és érést eredményezett az Mv9 kr1 búzához képest. A 3H, 4H, 6HS és 7H kromoszóma hatására csökkent a növénymagasság. A 2H és 6HS kromoszóma növelte a levélfelületet. A 3H, 7H, 3HS.3BL és a 4H(4D) vonal jobban bokrosodott, mint az Mv9 kr1 őszi búza. A 3H addíció bokrosodó képessége csak a szabadföldi vizsgálatainkban érvényelsült. A 3H kromoszóma hatására magasabb szemszámot és termést adtak a növények, míg a 7H kromoszóma a legkevesebb szemszámot és termést eredményezte.

2) Tenyészedényes kísérletekben kimutattuk, hogy kielégítő vízellátás és mérsékelt vízhiány mellett a 4H kromoszóma a gyökérzet növekedését eredményezte, míg a 2H valamint 3H jelenléte a gyökértömeg szignifikáns csökkenését okozta. Erősebb stressz hatására a 4H és a 4H(4D) vonalak gyökértömege is csökkent, azonban a gyökérhossz növekedése fennmaradt, és nőtt a mélygyökerek tömegének aránya. A vizsgált tulajdonságok változása a 4H(4D) szubsztitúció esetében volt statisztikailag igazolható.

3) Szabadföldi, szárazságtűrésre irányuló kísérleteinkben a vízhiány hatására a relatív víztartalom a vizsgált genotípusok közül a 4H és 6HS kromoszómát hordozó növényeknél kevésbé csökkent. A sztómakonduktancia és a fotoszintézis mértéke a 2H és 6H addíciós növények kivételével mindegyik genotípusnál szignifikánsan csökkent. A szárazságtolerancia indexek közül az STI, MP, GMP és YI alapján a 2H, 3H és 3HS.3BL a vízhiányt toleráló genotípusoknak találtuk. Ezek a vonalak nagy termőképességgel rendelkeztek, bár a vízhiány hatására a termésük nagymértékben is csökkent. Ezzel szemben a 4H, 4H(4D) és 6HS vonalak termése csökkent a legkevésbé és az SSI, TOL és YSI értékeik alapján szárazságtűrőnek bizonyultak, azonban ezen a genotípusok termőképessége kisebb volt.

4) Az árpa lisztharmat direktfertőzési kísérlet eredménye szerint a *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* nem képes megfertőzni a búza-árpa keresztezésből származó növényeket. Azonban a szabadföldi, természetes lisztharmatfertőzés során azonosított *B. g.* f.sp. *tritici* igen, bár eltérő mértékben. A 4H addíciós vonal fogékony volt a betegséggel szemben, míg a 6H addíció levelein nem jelentkeztek a tűnetek.

5) Az Mv9 kr1 × Igri addíciós vonalak citológiai vizsgálata szerint a 2H és 3H kromoszóma volt legstabilabban jelen és a 7H addíciós vonal is jó stabilitást mutatott. A 4H kromoszóma eliminálódott teljesen a leggyakrabban, míg a 6HS addíció esetében találtuk a legkevesebb diszómás növényt. Az eltérő morfológiájú egyedek megjelenését az árpa kromoszóma teljes vagy részbeni eliminálódása okozta.

## 7.2 Thesis points

1) During early ontogeny shoot development was influenced by the 2H, 3H and 3HS chromosomes, while the growth of the radicle was affected by the 2H, 4H, 7H and 6HS barley chromosomes. Regarding anthesis and maturity, the 7H addition line was the earliest, whereas the 4H addition was the latest to mature. The plant height and spike length were decreased by the addition of 3H, 4H, 6HS or 7H. The addition of chromosomes 2H and 6HS increased the flag-leaf area. The 3H, 7H, 3HS.3BL and 4H(4D) lines produced more tillers per plant than Mv9 kr1 wheat, but the tillering ability of the 3H addition was only manifested in the field. The presence of the 3H chromosome resulted in higher seed number and yield, while the 7H addition had the lowest fertility.

2) In the greenhouse experiments root production increased in the 4H addition line in the case of satisfactory water supplies or moderate water deficit, but was significant decreased by the presence of 2H or 3H. In response to more severe water deficit the root weight of lines 4H and 4H(4D) also declined, though root growth was maintained and the ratio of deep roots in the total root weight increased.

3) The drought tolerance of wheat-barley introgression lines was also studied in field experiments. The relative water content of plants carrying chromosomes 4H and 6HS decreased to a lesser extent in response to drought. Stomatal conductance and the rate of photosynthesis were reduced for all the genotypes with the exception of the 2H and 6H addition lines. Based on the STI, MP, GMP and YI drought tolerance indexes the 2H, 3H and 3HS.3BL lines were drought-tolerant. These wheat–barley lines had high yield performance, though their yield reduction under drought conditions was greater than average. In contrast, 4H, 4H(4D) and 6HS were found to be drought-resistant genotypes based on the SSI, TOL and YSI indexes, but despite their less pronounced yield reduction their yield performance was also low.

4) The results of the inoculation experiments showed that barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) was not able to infect plants containing an added barley chromosome (or segment). The results of the inoculation experiments showed that barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) was not able to infect plants containing an added barley chromosome (or segment), though varying extents of *B. graminis* f.sp. *tritici* infection were recorded during natural powdery mildew infection in the field. The

4H addition line was susceptible to the disease, while no symptoms appeared on the leaves of the 6H addition.

5) Cytological analysis demonstrated that the 2H and 3H chromosome addition lines were the most stable of the Mv9 kr1 × Igri additions, while the 7H addition also showed good stability. Chromosome 4H was most frequently eliminated completely, while the lowest number of disomic plants was found for the 6HS addition. The appearance of plants with different morphology caused by the complete or partial elimination of the barley chromosome.

# 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálás köszönetem szeretném kifejezni Dr. Hoffmann Borbálának, témavezetőmnek, aki megszerette velem a kutatói pályát, és szakmai útmutatásaival, segítségével, és tanácsaival mindig a helyes irányba terelt az évek során.

Kiemelten köszönöm Dr. Lángné Dr. Molnár Mártának (MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet, Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztály), hogy a vizsgálatok elvégzéséhez rendelkezésemre bocsátotta ezt a különleges növényanyagot, és biztosította számomra a martonvásári tenyészedényes kísérletek, valamint a citológiai vizsgálatok elvégzéséhez szükséges feltételeket.

Köszönöm Dr. Szakács Évának (MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet, Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztály) martonvásári tenyészedényes kísérletek és a citológiai vizsgálatok kivitelezésében nyújtott nélkülözhetetlen segítségét.

Külön köszönöm Szente Róbertnek, Somogyi Dezsőné Margitnak, és Matyi Lajosnak a szabadföldi kísérletek kivitelezésében nyújtott segítségüket. Nagyon köszönöm Dunai Atillának, aki akkor is talajmintát vett a száraz talajból, ha az már lehetetlennek tűnt és segített a talajvizsgálatok elvégzésében. Köszönöm Dr. Pintér Csabának a szemekről készített gyönyörű mikroszkópos felvételeket. Köszönettel tartozom Dr. habil Dulai Sándornak (Eszterházy Károly Főiskola), Borbély Péternek és Háló Balásznak fotoszintézis vizsgálat kivitelezésért.

Köszönöm Valent Ferencnek, hogy megalkotta a „homokcsöves” tenyészedényes kísérleti rendszer elemeit.

Hálával tartozom Dr. Gáborjányi Richárdnak kórtani tanácsaiért. Az árpalisztharmat direktfertőzési kísérlet kivitelezésében nyújtott segítségét köszönöm Dr. Vida Gyulának (MTA-ATK Mezőgazdasági Intézet Kalászos Gabona Rezisztencia Nemesítési Osztály) és Dr. Barna Balázsnak (MTA-ATK Növényvédelmi Intézet). A molekuláris genetikai vizsgálatokban nyújtott segítségét Dr. Cernák Istvánnak és Dr. Poczai Péternek köszönöm.

Nagyon köszönöm Dr. Varga Ildikónak baráti és szakmai tanácsait, segítségét, különösen, hogy megtanított a megfelelő minőségű fotódokumentáció elkészítésének mikéntjére. Köszönettel tartozom kollegáimnak és barátaimnak Kollaricsné Horváth Margitnak, Petrovicsné Mátyás Kingának és Dr. Kolics Balázsnak a mérések kivitelezésében nyújtott segítségükért, valamint a biztató szavakért és jó tanácsokért.

Végül, de nem utolsó sorban hálásan köszönöm Páromnak, hogy türelemmel mellettem állt.

# 9. MELLÉKLETEK

## 9.1 Zadoks fejlődési skála

| Fejlődési stádium | Zadoks skála, ZAD | Leírás |
|---|---|---|
| **Vetés ZAD 0** | 0 | |
| **Csírázás ZAD 1-9** | 5 | gyökér megjelenése |
| | 7 | sziklevél megjelenése |
| | 9 | levélkezdemény |
| **Csíranövény fejlődése ZAD 10-19** | 10 | első levél több mint a fele látható |
| | 11 | első levél több mint a fele látható |
| | 12 | második több mint a fele látható |
| | 13 | harmadik levél több mint a fele látható |
| | 14 | negyedik levél több mint a fele látható |
| | 15 | ötödik levél több mint a fele látható |
| | 19 | kilenc vagy több levél több mint a fele látható |
| **Bokrosodás ZAD 20-29** | 20 | csak főhajtás |
| | 21 | főhajtás és 1 oldalhajtás |
| | 22 | főhajtás és 2 oldalhajtás |
| | 23 | főhajtás és 3 oldalhajtás |
| | 24 | főhajtás és 4 oldalhajtás |
| | 29 | főhajtás és 9 vagy több oldalhajtás |
| **Szár növekedése ZAD 30-39** | 30 | szárbaindulás |
| | 31 | első csomó kitapintható |
| | 32 | második csomó kitapintható |
| | 33 | harmadik csomó kitapintható |
| | 34 | negyedik csomó kitapintható |
| | 35 | ötödik csomó kitapintható |
| | 36 | hatodik csomó kitapintható |
| | 37 | zászlóslevél épp csak látható |
| | 39 | zászlóslevél kiterül a főhajtáson, a gallérja látható |
| **A legfelső levélhüvely fejlődés ZAD 40-49** | 41 | zászlóslevél hüvelye megnyúlik |
| | 43 | zászlóslevél hüvelye vastagodni kezd |
| | 45 | zászlóslevél hüvelye megvastagodott |
| | 47 | zászlóslevél hüvelye nyílik |
| | 49 | első szálkák láthatók |
| | | |

| | | |
|---|---|---|
| **A kalász fejlődése ZAD 50-59** | 50 | első kalászkák láthatóak |
| | 53 | a kalász egynegyede kifejlődött |
| | 55 | a kalász fele kifejlődött |
| | 57 | a kalász kétharmada kifejlődött |
| | 59 | a kalász teljesen kifejlődött |
| **Virágzás ZAD 60-69** | 60 | virágzás kezdete |
| | 65 | füzérkék fele elvirágzott |
| | 69 | virágzás vége |
| **Tejesérés DC70-79** | 71 | szemek vizesérésben |
| | 73 | korai tejesérés |
| | 75 | tejesérés közepe |
| | 77 | késői tejesérés |
| **Viaszérés ZAD 80-89** | 83 | korai viaszérés |
| | 85 | puha táplálószövet |
| | 87 | kemény táplálószövet |
| **Érés ZAD 90-100** | 91 | a szem kemény (nehéz körömmel szétvágni) |
| | 92 | a szem kemény (aratás) |
| | 93 | a szem csépelhető |
| | 94 | túlérés |
| | 95 | szemek nyugalmi állapotba kerülése |

# 10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

**A doktori kutatási témakörhöz kapcsolódó publikációk**

**Lektorált nemzetközi folyóiratban:**

Türkösi E, Farkas A, Aranyi N. R., Hoffmann B, Tóth V, Molnár-Láng M. (2015) Improvement of the agronomic traits of a wheat-barley centric fusion by introgressing the 3HS.3BL translocation into a modern wheat cultivar. **Genome** 57 (11-12): 601-607. **IF:1,65**

Aranyi N.R., Molnár-Láng M., Hoffmann S., Hoffmann B. (2014) Phenotypic characterization of wheat- barley 'Mv9 kr1' / 'Igri' introgression lines in the field. **Plant Breeding**. 133 (6): 718-721. **IF: 1,175**

Aranyi N.R., Varga I., Poczai P., Cernák I., Vida Gy., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2014) What types of powdery mildew can infect wheat-barley introgression lines? **European Journal of Plant Pathology** 139 (1):19-25. **IF:1,610**

**Lektorált hazai folyóiratban (angol nyelven):**

Hoffmann B., Aranyi N., Molnár-Láng M. (2011) Root development and drought tolerance of wheat-barley introgression lines. ***Acta Biologica Szegediensis*** 55 (1): 81-82.

Hoffmann B., Aranyi N., Molnár-Láng M. (2010) Characterization of wheat-barley introgression lines for drought tolerance. ***Acta Agronomica Hungarica*** 58 (3): 211-218.

Hoffmann B., Aranyi N., Hoffmann S., Molnár-Láng M. (2009) Possibilities to increase stress tolerance of wheat. ***Cereal Research Communications*** 37: 93-96.

**Lektorált hazai folyóiratban (magyar nyelven):**

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2012) Búza-árpa addíciós vonalak fenológiai és morfológiai jellemzése. ***Acta Agraria Kaposváriensis*** 16: 59-62.

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2012) Búza-árpa introgressziós vonalak agronómiai tulajdonságainak vizsgálata. ***Növénytermelés*** 61 (2): 5-19.

**Tudományos publikáció magyar nyelven:**

Aranyi N. R. (2011) A szárazságtűrés javításának lehetősége távoli hibridizációval őszi búzában (*Triticum aestivum* L.). Bagoly Almanach. Keszthely. *ISBN 978-615-5044-25-0* Online kiadvány.

**Nemzetközi tudományos konferencián:**

Aranyi N.R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2013) Root development of wheat is influenced by 4H in addition and substitution lines originating from wheat-barley crosses. Eucarpia, 24 - 26 Sept. 2013, Göttingen, Germany. 56.

Aranyi N. R., Szakács É., Hoffmann B., Molnár-Láng M. (2013) The effect of added barley chromosomes on yield components of wheat in greenhouse. Pre-breeding- fi shing in the gene pool, European Plant Genetic Resources Conference, June 10-14, 2013, Alnarp, Sweden. 96.

Aranyi N. R., Varga I., Molnár-Láng M., Vida Gy., Hoffmann B. (2013) *Tritici or hordei formae speciales* of powdery mildew are present on the wheat-barley introgression lines? The results of an infection experiment. VIPCA II. Plant Genetics and Breeding Technologies, February 18-20 2013, Wien, Austria. 67.

Aranyi N. R., Szakács É., Hoffmann B., Molnár-Láng M. (2012) Morphological traits of wheat/barley 'Mv9kr'1/'Igri' addition lines under greenhouse conditions. The 10th Internaitonal Ph.D. Student Conference on Experimental Plant Biology, September 3-5, 2012, Brno, Czech Republic. 103.

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2012) Phenotypic Consequences of Barley Chromosomes in Wheat Genom. VIPCA II. Plant Abiotic Stress Toerance II, February 22-25 2012, Wien, Austria. 80.

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2011) Examination of root characteristics of wheat-barely derivates. 46$^{th}$ Croatian and 6$^{th}$ International Symposium on Agricultire, February 14-18 2011, Opatia, Croatia. *ISBN: 978-953-6135-71-4* On CD 3.18.

**Hazai tudományos konferencián**

Aranyi N. R., Szakács É., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2014) Vízmegvonás hatása búza-árpa addíciós vonalakra tenyészedényes kísérletben. Veisz O. (szerk.) XX. Növénynemesítési Tudományos Nap, Összefoglalók: "Növénynemesítés a megújuló mezőgazdaságban". Budapest, Magyarország, MTA Agrártudományok Osztályának Növénynemesítési Bizottsága, 50-54. *ISBN 978-963-8351-42-5*.

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2013) Búza-árpa introgressziós vonalakkal végzett szabadföldi kísérletek eredményei. Janda T. (szerk). II. ATK Tudományos Nap. Velünk Élő Tudomány. 2013. november 8. Martonvásár. Proceeding: 159-169. *ISBN:*978-963-8351-41-8

Aranyi N. R., Varga I., Vida Gy., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2013) Intergenerikus hibridek szerepe a lisztharmat gomba gazdanövénykörének változásában. XIX. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2013. 04. 25. Keszthely. Teljes terjedelemben, *CD kiadvány*. *ISBN: 978-963-9639-51-5.*

Aranyi N. R., Varga I., Molnár-Láng M., Vida Gy., Hoffmann B. (2013) Bővül-e az árpalisztharmat gazdanövény-köre a búza-árpa hibridizációt követően? Hoffmann B., Kollaricsné H. M. (szerk). XIX. Növénynemesítési Tudományos Nap. MTA Agrártudományok Osztályának Növénynemesítési Bizottsága. 2013. március 7. Keszthely. Összefoglalók: 74. *ISBN 978-963-9639-50-8.*

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2012) A búza addíciós vonalak terméselemeinek alakulása tenyészedényes vizsgálatokban. Kis-Simon T. (szerk.) LIV. Georgikon Napok. 2012. 10. 11-12. Keszthely. Összefoglalók: 27. Teljes terjedelemben: napok.georgikon.hu. *ISBN: 987-963-9639-47-8*

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2012) Az árpa kromoszómák hatása a búza terméselemeire búza-árpa addíciós vonalakon vizsgálva. XVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2012. 04. 19. Keszthely. Teljes terjedelemben, *CD kiadvány*. *ISBN: 978-963-9639-45-4*

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2011) A búza genomba beépített árpa kromoszóma szegmentumok hatása az őszi búza agronómiai tulajdonságaira. Lukács G. (szerk.) Fenntarthatóság és versenyképesség? LIII. Georgikon Napok. 2011. 09 29-30. Keszthely. Összefoglalók: 30. Teljes terjedelemben: http://sandbox.georgikon.hu/napok-

old/upload/publications/2012-02-03_09-33-46__061-aranyi-nikolett.doc. *ISBN: 987-963-9639-43-0*

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2011) Gyökér-hajtás arány vizsgálata búza-árpa introgressziós vonalakon. Óvári J (szerk.) XVII. Növénynemesítési Tudományos Napok, Összefoglalók: "Növénynemesítéssel kultúrnövényeink sokféleségéért". Budapest, Magyarország, 2011. 04. 27 Budapest: MTA Agrártudományok Osztályának Növénynemesítési Bizottsága, 129.

Aranyi N. R., Molnár-Láng M., Hoffmann B. (2011) Búza-árpa hibridek egyes termést befolyásoló tulajdonságainak alakulása szárazságstressz hatására. XVII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2011. április 21., Keszthely. Teljes terjedelemben, CD kiadvány. *ISBN: 978-963-9639-42-3*

Hoffmann B., Aranyi N., Molnár-Láng M. (2010) Búza/árpa introgressziós vonalak szárazságtűrésének jellemzése. Veisz O (szerk.) XVI. Növénynemesítési Tudományos Napok, Budapest, Magyarország, 2010.03.11 Budapest: MTA Agrártudományok Osztályának Növénynemesítési Bizottsága, 27.

**Egyéb témájú publikációk**

**Lektorált külföldi folyóiratban:**

Varga I., Poczai P., Tiborcz V., Baltazár T., Aranyi N. R., Bartha D., Pejchal M., Hyvönen J. (2014) Changes in the distribution of the European mistletoe (*Viscum album* L., 1753) in Hungary during 100 years. **Folia Geobotanica** 49 (4): 559-577. **IF: 1,56.**

**Lektorált hazai folyóiratban (angol nyelven):**

Kollaricsné Horváth M., Polgár Z, Aranyi N.R., Cernák I., Taller J., Hoffmann B. (2014) The effect of nitrogen supply on leaf area index, leaf chlorophyll and tuber nitrogen content in potato. **Georgikon For Agriculture** 18:(1) 49-59.

Varga I., Poczai P., Tiborcz V., Baltazar T., Aranyi N., Hirka A. (2014) A fehér fagyöngy (Viscum album L.) előfordulása a Nyugat-Dunántúlon napjainkban. **Georgikon for Agriculture** 19 (1) 164-168.

**Hazai tudományos konferencián bemutatott poszterek:**

Kollaricsné H. M., Aranyi N. R., Taller J., Hoffmann B. (2013) A nitrogén-kezelés hatása burgonyafajták klorofill tartalmára. Janda T. (szerk). II. ATK Tudományos Nap. Velünk Élő Tudomány. 2013. november 8. Martonvásár, 214- 217. *ISBN:978-963-8351-41-8*

Varga I.*, Aranyi N.*, Baltazar T., Poczai P.* Szerzők egyenlő aranyban. (2013) A fehér fagyöngy hiperparazita kórokozójának (*Phaeobotryosphaeria visci*) fertőzési küszöbérték vizsgálata. Horváth J., Haltrich A., Molnár J. (szerk.) 59. Növényvédelmi Tudományos Napok. 2013. február 19-20. Budapest. Összefoglalók: 99. *ISSN 0231 2956*.

# 11. IRODALOM JEGYZÉK


Araus J. L., Slafer G. A., Reynolds M. P., Royo C. (2002) Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany,* 89: 925–940.

Araus J. L., Slafer G. A., Royo C., Serret M. D. (2008) Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences,* 27: 377–412.

Austin R. B., Morgan C. L., Ford M. A., Blackwell R. D. (1980) Contribution to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and darf barley phenotypes in two contrasting season. *Annals of Botany,* 45: 309–319.

Bálint A. F., Szira F., Börner A., Galiba G. (2008) Segregation- and association based mapping of loci influencing osmotic tolerance in barley. *Acta Biologica Szegediensis,* 52 (1): 101-102.

Bálint A. F., Szira F., Börner A., Neumann K., Gottwald S., Stein N., Galiba G. (2009) Az árpa szárazságtűrésének vizsgálata: QTL- és asszociációs analízis, marker alapú szelekció, TILLING. In: O. Veisz *(ed.), Hagyomány és haladás a növénynemesítésben: XV. Növénynemesítési Tudományos Napok*. Budapest. 16–20.

Barnabás B., Fehér A. (2006) Az embriófejlődés és a szemfeltöltődés molekuláris folyamatai a vízhiányban. In: D. Dudits (*ed.*), *A búza nemesbítésének tudománya: A funkcionális genomikától a vetőmagig,*Winter Fair Kft. Szeged.

Baum M., Grando S., Backes G., Jahoor A., Sabbagh A., Ceccarelli S. (2003) QTLs for agronomic traits in the mediterranean environment identified in recombinant inbred lines of the cross 'Arta' x *H-spontaneum* 41-1. *Theoretical and Applied Genetics,* 107: 1215–225.

Bilger W., Björkman O. (1990) Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbency changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research,* 25: 173–185.

Bilger W., Schreiber U. (1986) Energy-dependent quenching of dark level chlorophyll fluorescence in intact leaves. *Photosynthesis Research,* 10: 303–308.

Birsin M. A. (2005) Effects of removal of some photosynthetic structures on some yield components in wheat. *Journal of Agricultural Science,* 11 (4): 364–367.

Blum A. (1988) *Plant breeding for environmental stresses*. CRC Press Florida. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research,* 56: 1159–1168.

Blum A. (2006) Drought adaptation in cereal crops: a prologue. In: J. M. Ribaut (*ed.*), *Drought Adaptation in Cereals,*The Harworth Press. New York. 3–15.

Blum A. (2009) Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research,* 112: 119–123.

Blum A., Mayer J., Golan G. (1988) The effect of grain number (sink size) on source activity and its water-relations in wheat. *Journal of Experimental Botany,* 39: 106–114.

Bouslama M., Schapaugh W. T. (1984) Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science,* 24: 933–937.

Caemmerer S. V., Farquhar G. D. (1981) Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta,* 153 (4): 376–387.

Cattivelli L., Baldi P., Crosatti C., Fonzo N. D., Faccioli P., Grossi M., Mastrangelo A. M., Pecchioni N., Stanca A. M. (2002) Chromosome regions and stress-related sequences

involved in resistance to abiotic stress in Triticeae. *Plant Molecular Biology,* 48: 649–665.

Cattivelli L., Rizza F., Badeck F. W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A. M., Francia E., Maré C., Tondelli A., Stanca A. M. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research,* 115: 1–14.

Centritto M., Loreto F., Chartzoulakis K. (2003) The use of low [CO2] to estimate diffusional and non-diffusional limitations of photosynthetic capacity of salt stressed olive saplings. *Plant, Cell & Environment,* 26: 585–594.

Champoux M. C., Wang G., Sarkarung S., Mackill D. J., O'Toole J. C., Huang N., McCouch S. R. (1995) Locating genes associated with root morphology and drought avoidance in rice via linkage to molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics,* 90: 969–981.

Chaves M. M., Maroco J. P., Pereira J. S. (2003) Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology,* 30: 239–264.

Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J. P., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. P., Osório M. L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C. (2002) How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. *Annals of Botany,* 89 (7): 907–916.

Chazen O., Neumann P. M. (1994) Hydraulic signals from the roots and rapid cell wall hardening in growing maize (*Zea mays* L.) leaves are primary responses to polyethylene glycol induced water deficits. *Plant Physiology,* 104: 1385–1392.

Chloupek O., Dostál V., Středa T., Psota V., Dvořáčková O. (2010) Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding,* 129 (6): 630–636.

Clarke J. M., De-Pauw R. M., Towenley-Smith T. M. (1992) Evulation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science,* 32: 728–732.

Cornic G. (2000) Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science,* 5 (5): 187–188.

Cseuz L. (2009) A szárazságtűrő őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nemesítésének lehetőségei és korlátai. Doktori értekezés, Szent István Egyetem.

Cseuz L., Pauk J. (2004) Az őszi búza nemesítése szárazságtűrésre a szegedi Gabonatermesztési Kutató Kht.-ban. *Mag,* 18 (3): 15–22.

Dale J. E. (1988) The control of leaf expansion. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,* 39: 267–295.

Dancic S., Kastori R., Kobiljski B., Duggan B. (2000) Evaulation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under optimal and drought conditions. *Euphytica,* 113: 43–52.

Darko E., Barnabás B., Molnár-Láng M. (2012) Characterization of Newly Developed Wheat/Barley Introgression Lines in Respect of Aluminium Tolerance. *American Journal of Plant Sciences,* 3: 1462-1469.

Davies W. J., Zhang J. (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,* 42: 55–76.

Diab A. A., Teulat-Merah B., This D., Ozturk N. Z., Benscher D., Sorrells M. E. (2004) Identification of drought-inducible genes and differentially expressed sequence tags in barley. *Theoretical and Applied Genetics,* 109: 1417–1425.

DuCheyron P., Masson E. (2007) Variétés de triticale: décryptage du catalogue franc¸ais. *Perspectives Agricoles,* 335: 38–46.

Dudits D. (2006) A búza nemesítésének tudománya. A funkcionális genomikától a vetőmagig. In: D. Dudits (*ed.*),MTA Szegedi Biológiai Központ- Winter Fair. Szeged. 33–37.

Dulai S., Molnár I., Háló B., Molnár-Láng, M. (2010) Photosynthesis in 7H wheat/barley 'Asakaze komugi'/'Manas' addition line during salt stress. *Acta Agronomica Hungarca,* 58: 367–376.

Dulai S., Molnár I., Molnár-Lág, M. (2011) Changes of photosynthetic parameters in wheat/barley introgression lines during salt stress. *Acta Biologica Szegediensis,* 55 (1): 73–75.

Ehdaie B., Barnhart D., Waines J. G. (2001) Inheritance of root and shoot biomass in a bread wheat cross. *Journal of Genetics and Breeding,* 55: 1–10.

Ehdaie B., Layne A. P., Waines J. G. (2012) Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. *Euphytica,* 186: 219–232.

Ehdaie B., Waines R. W. W. 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-Zahaby H. M., Gullner G., Király Z. (1995) Effects of powdery mildew infection of barley on the ascorbateglutathione cycle and other antioxidants in different host-pathogen interactions. *Biochemistry and Cell Biology,* 85: 1225–1230.

Ellis R. P., Forster B. P., Gordon D. C., Handley L. L., Keith R. P., Lawrence P., Meyer R., Powell W., Robinson D., Scrimgeour C. M., Young G., Thomas W. T. (2002) Phenotype/genotype associations for yield and salt tolerance in a barley mapping population segregating for two dwarfing genes. *Journal Experimental Botany,* 53 (371): 1163–1176.

Ellis R. P., Forster B. P., Waugh R., Bonar N., Handley L. L., Robinson D., Gordon D. C., Powell W. (1997) Mapping Physiological Traits in Barley. *New Phytologist,* 137 (1): 149–157.

FAOSTAT (2013) Production Crops. Internetes forrás: http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor (2014.03.16.).

Farkas A., Molnár I., Kiss T., Karsai I., Molnár-Láng M. (2014) Effect of added barley chromosomes on the flowering time of new wheat/winter barley addition lines in various environments. *Euphytica,* 195: 45–55.

Farshadfar E., Haghparast R., Qaitoli M. (2008a) Chromosomal localization of the genes controlling agronomic and phisiological indicators of drought tolerance in barley using disomic addition lines. *Asian Journal of Plant Sciences,* 7 (6): 536–543.

Farshadfar E., Mohammadi R., Farshadfar M., Dabiri S. (2013) Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat-rye disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science,* 7 (1): 130–138.

Farshadfar E., Safavi S. A., Aghaee-Sarbarzeh M. (2008b) Locating QTLs Controlling Salt Tolerance in Barley Using Wheat-barley Disomic Addition Lines. *Asian Journal of Plant Sciences,* 7: 149–155.

Farshadfar E., Sutka, J. (2002) Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communications,* 31: 33–39.

Faure S., Higgins J., Turner A., Laurie, D. (2007) The flowering locus T-like gene family in barley (*Hordeum vulgare*). *Genetics,* 175: 599–609.

Fedak G. (1977) Increased homoeologous chromosome pairing in *Hordeum vulgare* × *Triticum aestivum* hybrids. *Nature (Lond.),* 266: 529–530.

Fedak G. (1980) Production, morphology and meiosis of reciprocal barley-wheat hybrids. *Canadian Journal of* Genetics *and Cytology,* 22: 117–123.

Fernandez G. C. J. (1992) Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C. G. Kuo *(ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication*. Tainan, Taiwan.

Fischer R. A., Maurer R. (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research,* 29: 897–907.

Frederic J. R., Bauer P. J. (2000) Physiological and numerical components of wheat yield. In: E. H. Satorre, G. A. Slafer (*ed.*), *Wheat ecology and physiology of yield determination (Chapter No. 3),*Food Products Press. New York. 45–65.

Friebe B., Jiang J., Raupp W. J., Mcinthosh R. A., Gill B. S. (1996) Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests current status. *Euphytica,* 51: 59–58.

Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M., Campaline R. G., Ricciardi F. L., Borghi G. (1997) Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Plant Science,* 77: 523–531.

Genty B., Briantais J. M., Baker N. R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta,* 990 (1): 87–92.

Giraud T., Gladieux P., Gavrilets S. (2010) Linking the emergence of fungal plant diseases with ecological speciation. *Trends Ecology and Evolution,* 25: 387–395.

Golabadi M. A., Arzani S. A., Maibody M. (2006) Assesment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research,* 1 (5): 162–171.

Gowda V. R. P., Henry A., Yamauchi A., Shashidhar H. E., Serraj, R. (2011) Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. *Field Crops Research,* 122 (1): 1–13.

Guóth A., Tari I., Gallé Á., Csiszár J., Horváth F., Pécsváradi A., Cseuz L., Erdei L. (2009) Chlorophyll a fluorescence induction parameters of flag leaves characterize genotypes and not the drought tolerance of wheat during grain filling under water deficit. *Acta Biologica Szegediensis,* 53 (1): 1-7.

Guttieri M. J., Stark J. C., O'brien K., Souza E. (2001) Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science,* 41: 327–335.

Hall A. E. (1993) Is dehydration tolerance relevant to genotypic differences in leaf senescence and crop adaptation to dry environments? In: T. J. Close, E. A. Bray (*ed.*), *Plant responses to cellular dehydration during environmental stress,*American Society of Plant Physiologists. Riverside. 1–10.

Handley L. L., Nevo E., Raven J. A., Martýnez-Carrasco R., Scrimgeour C. M., Pakniyat H., Forster B. P. (1994) Chromosome 4 controls potential water use efficiency in barley. *Journal of Experimental Botany,* 45: 1661–1663.

Harnos N. (2003) A klímaváltozás hatásainak szimulációs vizsgálata őszi búza produkciójára. *„Agro-21" Füzetek Klímaváltozások- Hatások- Válaszok,* 10 (31): 57–73.

Hoagland D. R., Syder W. C. (1933) Nutrition of the strawberry plant under controlled conditions: (a) Effects of deficiencies of Boron and certain other elements: (b) Susceptibility to injury from sodium salts. *Proceedings of the American Society for Horticultural Sciene,* 30: 288–294.

Hofer R. M. (1991) Root hairs. In: Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkai (*ed.*), *Plant Roots: The Hidden Half,* Marcel Dekker. New York. 129–148.

Hoffmann B. (2008) Alteration of drought tolerance of winter wheat caused by translocation of rye chromosome segment 1RS. *Cereal Research Communications,* 36 (2): 269–278.

Hoffmann B., Aranyi N., Hoffmann S., Molnár-Láng M. (2009) Possibilities to increase stress tolerance of wheat. *Cereal Research Communications,* 37: 93–96.

Hoffmann B., Aranyi N., Molnár-Láng M. (2011) Root development and drought tolerance of wheat-barley introgression lines. *Acta Biologica Szegediensis,* 55 (1): 81–82.

Hoffmann B., Cseuz L., Pauk J. (2006) Az őszibúza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. In: D. Dudits (*ed.*), *A búza nemesbítésének tudománya,*Winter Fair Ltd., Szeged. 191–224.

Huang G., Yen C. (1988) Studies on the developmental genetics of multiple spikelet per spike in wheat. *Proceedings of 7th International Wheat Genetic Symposium,* Cambridge, UK. 527–532.

Hui-lian X., Ishii R. (1996) Wheat Cultivar Differences in Photosynthetic Response to Low Soil Water Potentials. *Japanese Journal of Crop Science,* 65 (3): 509–517.

Ingram K. T., Bueno F. D., Namuco O. S., Yambao E. B., Beyrouty C. A. (1994) Rice root traits for drought resistance and their genetic variation. In: G. J. D. Kirk (*ed.*), *Rice Roots: Nutrient and Water Use,* International Rice Research Institute. Manila, Philippines.

Inuma T., Khodaparast S. A., Takamatsu S. (2007) Multilocus phylogenetic analyses within *Blumeria graminis,* a powdery mildew fungus of cereals. *Molecular Phylogenetics and Evolution,* 44: 741–751.

Islam A. K. M. R. (1983) Ditelosomic additions of barley chormosomes to wheat. In: S. Sakamato *(ed.), Proceedings of the 6th International Wheat Genetic Symposium,* Maruzen Co. Ltd. Kyoto. 233–238.

Islam A. K. M. R., Shepherd K. W. (1990) Incorporation of barley chromosomes into wheat. In: Y. P. S. Bajaj (*ed.*), *Biotechnology in Agricuiture and Forestry,*Springer-Verlag. Berlin. 128–151.

Islam A. K. M. R., Shepherd K. W. (1992) Substituting ability of individual barley chromosomes for wheat chromosomes. 1. Substitutions involving barley chromosomes 1, 3 and 6. *Plant Breeding,* 109: 141–150.

Islam A. K. M. R., Shepherd K. W. (1995) Substitution of barley chromosome 4 for group 4 homoelogous of wheat. In: *Proceedings of the 8th International Wheat Genetics Symposium,* Beijing, China, 141–144.

Islam A. K. M. R., Shepherd K. W., Sparrow D. H. B. (1981) Isolation and characterization of euplasmic wheat-barley chromosome addition lines. *Heredity,* 46: 161–174.

Jauhar P. P. (1995) Morphological and cytological characteristics of some wheat × barley hybrids. *Theoretical and Applied Genetics,* 90: 872–877.

Jefferies S. P., Barr A. R., Karakousis A., Kretschmer J. M., Manning S., Chalmers K. J., Nelson J. C., Islam A. K. M. R., Langridge P. (1999) Mapping of Chromosome Regions Conferring Boron Toxicity Tolerance in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics,* 98 (8): 1293–1303.

Ji X., Shiran B., Wan J., Lewis D. C., Jenkins C. L. D., Condon A. G., Richards R. A., Dolferus R. (2010) Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant, Cell & Environment,* 33: 926–942.

Jiang J., Friebe B., Gill B. S. (1994) Recent advances in alien gene transfer in wheat. *Euphytica,* 73: 199–212.

Kano M., Inukai Y., Kitano H., Yamauchi A. (2011) Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice. *Plant and Soil,* 342: 117–128.

Kato Y., Abe J., Kamoshita A., Yamagishi J. (2006) Genotypic variation in root growth angle in rice (*Oryza sativa* L.) and its association with deep root development in upland fields with different water regimes. *Plant and Soil,* 287: 117–129.

Katsileros A. D., Kaltsikes P. J., Bebeli P. J. (2002) Effect of flag leaf, the awns and the number of kernels per spike on grain yield and its components in durum wheat (*Triticum turgidum* L. *var. durum*). *Agricultural Research,* 25 (2): 15–20.

Kawahara T., Taketa S., Murai K. (2002) Differential effects of cultivated and wild barley 5H chromosomes on heading characters in wheat-barley chromosome addition line. *Hereditas,* 136: 195–200.

Khan N., Naqvi F. N. (2011) Effect of Water Stress in Bread Wheat Hexaploids. *Current Research Journal of Biological Sciences,* 3 (5): 487–498.

Klocke B., Flath K., Miedaner T. (2013) Virulence phenotypes in powdery mildew (*Blumeria graminis*) populations and resistance genes in triticale (x Triticosecale). *European Journal of Plant Pathology,* 173 (3): 463–476.

Koba T., Handa T., Shimada T. (1991) Efficient production of wheat-barley hybrids and preferential elimination of barley chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics,* 81: 285–292.

Koba T., Takumi S., Shimada T. (1997) Isolation, identification and characterization of disomic and translocated barley chromosome addition lines of common wheat. *Euphytica,* 96: 289–296.

Koric S. (1966) Productivity of branched ears of vulgare wheat. *Savrem Poljopr,* 14: 545–552.

Kőszegi B., Linc G., Juhász A., Láng L., Molnár-Láng M. (2000) Occurence of the 1RS/1BL wheat-rye translocation in Hungarian wheat varieties. *Acta Agronomica Hungarca,* 48: 227–236.

Kramer P. J., Boyer J. S. (1995) Water relations of Plants and Soils. Academic Press San Diego. 482.

Kruppa K., Sepsi A., Szakács É., Röder M. S., Molnár-Láng M. (2013) Characterization of a 5HS-7DS.7DL wheat-barley translocation line and physical mapping of the 7D chromosome using SSR markers. *Journal of Applied Genetics,* 54: 251–258.

Kruppa K., Türkösi E., Szakács É., Cseh A., Molnár-Láng M. (2012) Development and identification of a 4HL.5DL wheat/barley centric fusion using GISH, FISH and SSR markers. *Cereal Research Communications,* 41 (2): 221–229.

Kruse A. (1973) *Hordeum - Triticum* hybrids. *Hereditas,* 73: 157–161.

Larcher W. (1987) Stress bei Planzen. *Naturwissenschaften,* 74 (4): 158–167.

Laurie D. A., Pratchett N., Bezant J. H., Snape J. W. (1995) RFLP mapping of five major genes and eight quantitative trait loci controlling flowering time in a winter × spring barley *Hordeum vulgare* (L.) cross. *Genome,* 38: 575–585.

Lelley J. (1963) A nemesítés módszerei. In: J. Lelley, G. Mándy (*ed.*), *A búza- Triticum aestivum L. Kultúrflóra sorozat 19,* Akadémiai Kiadó. Budapest. 233–240.

Levitt J. (1972) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press New York.

Levitt L. (1980) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press New York.

Li M., Pan Y., Li A. S., Kudrna D., Kleinhofs A. (2002) Fine mapping of a semi-dwarf gene brachytic 1 in barley. Acta *Genetica Sinica,* 29: 565–570.

Lilley J. M., Fukai S. (1994) Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars.1. Rooting pattern and soil water extraction. *Field Crops Research,* 37: 205–213.

Linc G., LángnéMolnár M. (2003) Búza/árpa diszómás addíció ellőállítása őszibúza-fajtákban kétféle módszerrel és azonosításuk molekuláris citogenetikai technikákkal (C-sávozás, GISH). *Növénytermelés,* 52: 3–13.

Lu Z., Neumann P. M. (1998) Water stressed maize, barley and rice seedlings show species specific diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *Journal Experimental Botany,* 49: 1945–1952.

Mahmood N., Chowdhry M. A. (1997) Removal of green photosynthetic structures and their effect on some yield parameters in bread wheat. *Wheat Information Service,* 85: 14–20.

Marchal E. (1902) De la spe´cialisation du parasitisme chez *l'Erysiphe graminis*. *Comptes Rendus de l'Acade´mie des Sciences de Paris,* 135: 210–212.

Martin B., Ruiz-Torres N. A. (1992) Effects of water-deficit stress on photosynthesis, its components and component limitations, and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology,* 100: 733–739.

Mascher F., Reichmann P., Schori A. (2006) Impact de l'oïdium sur la culture du triticale. *Revue Suisse d'Agriculture,* 38: 193–196.

Mitchell J. H., Fukai S., Cooper M. (1996) Influence of phenology on grain yield variation among barley cultivars grown under terminal drought. *Australian Journal of Agricultural Research,* 47: 757–774.

Mitra J. (2001) Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science,* 80: 758–762.

Mohammadi R., Farshadfar E., Aghaee-Sarbarzeh M., Sutka J. (2003) Locating QTLs controlling drought tolerance criteria in rye using disomic addition lines. *Cereal Research Communications,* 31: 257–263.

Mohammadi R., Sadeghzadeh D., Amiron M., Amri A. (2011) Evulation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran. *Crop and Pasture Science,* 62 (2): 137–151.

Mohammadi R., Sadeghzadeh D., Armion M., Amri A. (2010) Efficiency of screening techniques for evulatuating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production,* 4 (1): 11–24.

Molnár-Láng M., Kőszegi B., Linc G., Galiba G., Sutka J. (1996a) Chromosome instability of wheat/barley ditelosomic addition lines in tissue culture. *Cereal Research Communications,* 24: 275–281.

Molnár-Láng M., Kruppa K., Cseh A., Bucsi J., Linc G. (2012) Identification and phenotypic description of new wheat–six-rowed winter barley disomic additions. *Genome,* 55: 302–311.

Molnár-Láng M., Linc G., Friebe B. R., Sutka J. (2000a) Detection of wheat-barley translocations by genomic in situ hybridization in derivatives of hybrids multiplied in vitro. *Euphytica,* 112: 117–123.

Molnár-Láng M., Linc G., Logojan A., Sutka J. (2000b) Production and meiotic pairing behaviour of new hybrids of winter wheat (*Triticum aestivum*) winter barley (*Hordeum vulgare*). *Genome,* 43: 1045–1054.

Molnár-Láng M., Linc G., Sutka J. (1996b) Transfer of the recessive crossability allele *kr1* from Chinese Spring into the winter wheat variety Martonvásári 9. *Euphytica,* 90: 301–305.

Molnár-Láng M., Linc G., Szakács É. (2013) Wheat-barley hybridization – the last forty years. *Euphytica,* 195: 315–319.

Molnár-Láng M., Novotny C., Linc G., Nagy E. (2005) Changes in the meiotic pairing behaviour of a winter wheat–winter barley hybrid maintained for a long term in tissue culture, and tracing the barley chromatin in the progenies using GISH and SSR markers. *Plant Breeding,* 124: 247–252.

Molnár-Láng M., Sutka J. (1994) The effect of temperature on seed set and embryo development in reciprocal crosses of wheat and barley. *Euphytica,* 78: 53–58.

Molnár I., Linc G., Dulai S., Nagy E., Molnár-Láng M. (2007) Ability of chromosome 4H to compensate for 4D in response to drought stress in a newly developed and identified wheat-barley 4H(4D) disomic substitution. *Plant Breeding,* 126: 369–374.

Morgan J. M., Condon A. C. (1986) Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology,* 13: 523–532.

Mori M., Inagaki M. N. (2012) Root development and water-uptake under water dificit stress in drought-adaptive wheat genotypes. *Cereal Research Communications,* 40 (1): 44–52.

Murai K., Koba T., Shimada T. (1997) Effects of barley chromosome on heading characters in wheat-barley chromosome addition lines. *Euphytica,* 96: 281–287.

Naz A., Arifuzzaman M., Muzammil S., Pillen K., Léon J. (2014) Wild barley introgression lines revealed novel QTL alleles for root and related shoot traits in the cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Genetics,* 15 (1): 107.

Neumann A. M. (1999) Early mechanisms of plant- growth by water, salinity and mineral-nutrient stress. In: Dahlia Greidinger International Symposium, 41–53.

Nouri A., Etminan A., Teixeria da Silva J. A., Mohammadi, R. (2011) Assessment of yiled, yiled-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. *durum* Desf.). *Autralian Journal of Crop Science,* 5 (1): 8–16.

O'Toole J. C., Bland W. L.(1987) Genotypic variation in crop plant root systems. In: N. C. Brady (*ed.*), *Advances in Agronomy,* Academic Press. London. 91–145.

Országos Vízügyi Főigazgatóság. Internetes forrás: https://www.vizugy.hu/index.php?programelemid=108&module=archivum (2015. 04. 02).

Osmond C. B., Austin M. P., Berry J. A., Billings W. D., Boyer J. S., Dacey J. W. H., Nobel P. S., Smith S. D., Winner W. E. (1987) Stress physiology and the distribution of plants. *BioScience,* 37 (1): 38–48.

Passioura J. (2004) Increasing Crop Productivity When Water is Scarce – From Breeding to Field Management. In: *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress,* Brisbane, Australia.

Passioura J. B. (1977) Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science,* 43: 117–120.

Passioura J. B. (1996) Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation,* 20 (2): 79–83.

Passioura J. B. (2012) Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? *Functional Plant Biology,* 39: 851–859.

Rajala A., Hakala K., Mäkelä P., Peltonen-Sainio P. (2011) Drought Effect on Grain Number and Grain Weight at Spike and Spikelet Level in Six-Row Spring Barley. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 197 (2): 103–112.

Raman H., Moroni S., Saito K., Read B., Sato B. (2002) Identification of AFLP and Microsatellite Markers Linked with an Aluminium Tolerance Gene in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics,* 105 (2-3): 458–464.

Rashid A., Saleem Q., Nazir A., Kazim H. S. (2003) Yield potential and stability if nine wheat verieties under water stress conditions. *International Journal of Agriculutre and Biology,* 5 (1): 75–9.

Reynolds M., Tuberosa R. (2008) Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Current Opinion in Plant Biology,* 11: 171–179.

Riley R., Chapman V. (1967) The inheritance in wheat of crossability with rye. *Genetics Research (Camb.),* 9: 259–267.

Roberts E. H., Summerfield R. J., Cooper J. P., Ellis R. H. (1988) Enviromental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L.) I. Photoperiod limits to long-day responses, photoperiod-insensitive phase and effects of low temperature and short day vernalization. *Annals of Botany,* 62: 127–144.

Rosielle A. A., Hamblin J. (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science,* 21: 943–946.

Saari E. E., Prescott J. M. (1975) A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease. *Plant Diseases Reporter,* 59: 377–380.

Saini H. S., Westgate M. E. (1999) Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy,* 68: 59–96.

Schonfeld A., Johnson R. C., Carver F. B., Mornhinweg W. D. (1988) Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science,* 28: 526–531.

Schulze-Lefert P., Panstruga R. (2011) A molecular evolutionary concept connecting nonhost resistance, pathogen host range, and pathogen speciation. *Trends in Plant Science,* 16: 117–125.

Selye H. (1936) A Syndome Produced by Diverse Noxious Agents. *Nature,* 138: 32–45.

Selye J. (1976) Stressz distressz nélkül. *Korunk tudománya,* Akadémiai Kiadó. Budapest. 23–27.

Serraj R., Sinclair T. R. (2002) Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell and Environment,* 25: 333–341.

Shearman V. J., Sylvester-Bradley R., Scott R. K., Foulkes M. J. (2005) Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science,* 45: 175–185.

Shepherd K. W., Islam A. K. M. R. (1981) Wheat: barley hybrids – The first eighty years. In: L. T. Evans, W. J. Peacock (*ed.*), *Wheat Science, Today and Tomorrow,* Cambridge University Press, Cambridge, UK. 107–128.

Siddique K. H. M., Kirby E. J. M., Perry M. W. (1989) Stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research,* 21: 59–87.

Singh R. P., Huerta-Espino J., Rajaram S., Crossa J. (1998) Agronomic effects from chromosome translocations 1BL.1RS in spring wheat. *Crop Science,* 38: 27–33.

Sio-SeMardech A., Ahmadi A., Poustini K., Mohammadi V. (2006) Evaluation of drought resistance indices under varius enviromental conditions. *Field Crops Research,* 98: 222–229.

Snape J. W., Chapman V., Moss J., Blanchard C. E., Miller T. E. (1979) The crossabilities of wheat varieties with *Hordeum buIbosum*. *Heredity,* 42: 291–298.

Szakács É., Kruppa K., Molnár I., Molnár-Láng M. (2010) Induction Of Wheat/Barley Translocations By Irradiation And Their Detection Using Fluorescence In Situ Hybridization. *Acta Agronomica Hungarica,* 58 (3): 203–209.

Szakács É., Lángné-Molnár M. (2009) A búza citogenetikai alapanyagok fenntartása során létrejött kromoszóma-átrendeződések kimutatása *in situ* hibridizációval. In: O. Veisz *(ed.), Hagyomány és haladás a növénynemesítésben: XV. Növénynemesítési Tudományos Napok*. Budapest. 452–456.

Szakács É., Molnár-Láng M. (2007) Development and molecular cytogenetic identification of new winter wheat/winter barley (Martonvásári 9 krl/Igri) disomic addition lines. *Genome,* 50: 43–50.

Szakács É., Molnár-Láng M. (2010) Identification of new winter wheat-winter barley addition lines (6HS and 7H) using fluorescence in situ hybridization and stability of the whole 'Martonvásári 9 krl'-'Igri' addition set. *Genome,* 53 (1): 35–44.

Szász G. (1998) A természetes vízhasznosulás agrometeorológiai vizsgálatának eredményei. *Növénytermelés,* 47: 289–300.

Szira F. (2010) Árpa szárazságtűrését befolyásoló lókuszok azonosítása és marker alapú szelekcióra való alkalmasságuk vizsgálata. Szent István Egyetem, Gödöllő.

Szira F., Bálint A. F., Börner A., Galiba G. (2008) Evaulation of drough-related traits and screening methods at differend developmental stages in spring barley. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 194: 334–342.

Szunics L., Szunics L. (2010) Rezisztencia vizsgálatok búzanemesítési tenyészkertekben: A búza betegségei, és a védekezés lehetőségei. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet. Martonvásár. 192–200.

Takahashi R., Yasuda S. (1970) Genetics of earliness and growth habit in barley. In: R. A. Nilan (*ed.*), *Proceedings 2nd International Barley Genetic Symposium*. 388–408.

Takahashi R., Yasuda S. (1971) Genetics of earliness and growth habit in barley. In: R. A. Nilan (*ed.*), *Barley genetics II.,*Washington State University Press. Washington. 388–408.

Taketa S., Kato J., Takeda K. (1995) High crossability of wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch) with bread wheat and the differential elimination of barley chromosomes in the hybrids. *Theoretical and Applied Genetics,* 91: 1203–1209.

Talebi R. (2009) Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Phisiology,* 35 (1-2): 64–74.

Teulat B., Merah O., Sirault X., Borries C., Waugh R., This D. (2002) QTLs for grain carbon isotope discrimination in field-grown barley. *Theoretical and Applied Genetics,* 106: 118–126.

Teulat B., Merah O., Souyris I., This D. (2001) QTLs for agronomic traits from a mediterranean barley progeny grown in several environments. *Theoretical and Applied Genetics,* 103: 774–787.

Teulat B., Monneveux P., Very J., Borries C., Souyris I., Charrier A., This D. (1997) Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytologist,* 137 (1): 99–107.

Teulat B., This D., Khairallah M., Borries C., Ragot C., Sourdille P., Leroy P., Monneveux P., Charrier A. (1998) Several QTLs involved in osmotic adjustment trait variation in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics,* 96: 688–698.

Teulat B., Zoumarou-Wallis N., Rotter B., Salem M. B., Bahri H., This D. (2003) QTL for relative water content in field-grown barley and their stability across Mediterranean environments. *Theoretical and Applied Genetics,* 118: 181–188.

Troch V., Audenaert K., Bekaert B., Höfte M., Haesaert G. (2012) Phylogeography and virulence structure of the powdery mildew population on its 'new' host triticale. *BMC Evolutionary Biology,* 12: 76.

Tuberosa R. (2012) Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in Physiology,* 3 (347): 1–26.

Turner N. C. (1981) Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil,* 58: 339–366.

Vaezi B., Bavei V., Shiran B. (2010) Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research,* 5 (9): 881–892.

Varga B., Varga-László E., Bencze S., Balla K., Veisz O. (2013) Water use of winter cereals under well watered and drought stressed conditions. *Plant Soil and Environment,* 59 (4): 150–155.

Varga B., Vida G., Varga-László E., Bencze S., Veisz O. (2014) Effect of Simulating Drought in Various Phenophases on the Water Use Efficiency of Winter Wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 201 (1): 1–9.

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. *Plant Journal,* 45 (4): 523–539.

Wakulinski W., Zamorski C., Nowicki B., Schollenberger M., Mirzwa-Mróz E., Mikulski W., Konieczny M. (2005) Fungus *Blumeria graminis* (DC) Speer as serious risk for triticale in Poland. *Progress in Plant Protection,* 45: 505–510.

Walker A. S., Bouguennec A., Confais J., Morgant G., Leroux P. (2011) Evidence of host-range expansion from new powdery mildew (*Blumeria graminis*) infections of triticale (× Triticosecale) in France. *Plant Pathology,* 60: 207–220.

White T. J., Bruns T., Lee S. (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: M. A. Innis, H. D. Gelfand, J. J. Sninsky (*ed.*), *PCR protocol: a guide to methods and applications,* Academic Press, USA. 315–322.

Wiberg A. (1974) Sources of resistance to powdery mildew in barley. *Hereditas,* 78: 1–40.

Wójcik-Jagła M., Rapacz M., Tyrka M., Koscielniak J., Crissy K., Zmuda K. (2013) Comparative QTL analysis of early short-time drought tolerance in Polish fodder and malting spring barleys. *Theoretical and Applied Genetics,* 126: 3021–3034.

Xue D., Huang Y., Zhang X., Wei K., Westcott S., Li C., Chen M., Zhang G., Lance R. (2009) IdentiWcation of QTLs associated with salinity tolerance at late growth stage in barley. *Euphytica,* 169: 187–196.

Xue D. W., Chen M. C., Zhou M. X., Chen S., Mao Y., Zhang G. P. (2008) QTL analysis of flag leaf in barley (*Hordeum vulgare* L.) for morphological traits and chlorophyll content. *Journal of Zhejiang University,* 9 (12): 938–943.

Ya-Ping Y., Xiao C., Shi-he X., Islam A. K. M. R., Zhi-Yong X. (2003) Identification of wheat–barley 2H alien substitution lines. *Acta Botanica Sinica,* 45: 1096–1102.

Yan L., Fu D., Li C., Blechl A., Tranquilli G., Bonafede M., Sanchez A., Valarik M., Yasuda S., Dubcovsky J. (2006) The wheat and barley vernalization gene VRN3 is an orthologue of FT. *Proceedings of the National Academy of Sciences. U.S.A.,* 103: 19581–19586.

Yang J. C., Zhang J. H. (2006) Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist,* 169: 223–236.

Yasuda S. (1989) Differences in mechanism of early maturity between cultivated common wheat and barley. *Japanese Journal Breeding,* 39: 327–335.

Yen C. (1965) On the developmental genetics of spike appearances in *Triticum aestivum* L. *Genetica Sinica,* 6: 116–129.

Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. (1974) A decimal code for growth stages of cereals *Weed Research,* 14: 415–421.

Zhang X., Chen S., Sun H., Pei D., Wang Y. (2008) Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat. *Irrigation Science,* 27 (1): 1–10.