

Pannon Egyetem
Georgikon Kar
Országos Tudományos Diákköri
Konferencia

2015

Különböző gabonafélék abiotikus stressz tolerancia vizsgálata

Készítette: Porcsa Sebestyén

Mezőgazdasági mérnök harmadéves BSc hallgató

Témavezetők: Dr. Hoffmann Borbála tanszékvezető, egyetemi docens

Aranyi Nikolett Réka PhD hallgató

Növénytudományi és Biotechnológiai Tanszék

Tartalom

1 Bevezetés.....	3
2 Irodalmi áttekintés	5
2.1 A búza	5
2.1.1 Származása.....	5
2.1.2 Termesztése világban és Magyarországon	5
2.1.3 Éghajlat és termőhely igény	6
2.1.4 Jelentősége.....	7
2.2 A rozs	8
2.2.1 Származása.....	8
2.2.2 Termesztése a világban és hazánkban	8
2.2.3 Éghajlat és termőhely igény	9
2.2.4 Jelentősége.....	9
2.3 A faj-és nemzetséghibridek szerepe a búza nevelésében	11
2.4 Búza-rozs addíciók	11
2.5 A klímaváltozás hatásai a kenyérgabona termesztésére	13
2.5.1 A klímaváltozás hatásai, következményei	13
2.5.2 Klímaváltozás hatásai a Kárpát-medence területén	14
2.6 Abiotikus stresszek.....	16
2.6.1 Szárazságstressz.....	16
2.6.2 Hidegstressz/fagystressz.....	16

2.6.3 A stressztolerancia növelése.....	16
2.7. A gyökér szerepe a szárazságtoleranciában	17
2.8: A fotoszintézis alakulása szárazságsztressz idején	18
3: Saját vizsgálatok.....	19
3.1: Anyag és módszer.....	19
3.1.1 Vizsgált növényanyag	19
3.1.2 Tenyészedényes vizsgálatok körülményei	19
3.2 Vizsgálati eredmények és értékelésük	23
3.2.1 Virágzási idő.....	23
3.2.2 Gyökérvizsgálatok	23
3.2.3 Klorofill tartalom.....	25
3.2.4 Levélöregedés.....	28
3.2.5 Szemtermés	29
4 Következtetések, javaslatok.....	33
5 Összefoglalás	34
6 Köszönetnyilvánítás	35
7 Felhasznált irodalom	36

1 Bevezetés

A mezőgazdasági termelés és ezzel párhuzamosan a lakosság élelmezése nagy kihívások elé néz. Míg a népesség exponenciálisan nő, addig a termőterületek mérete csökken és az abiotikus stressz tényezők is egyre jobban fenyegetik a termést a változó időjárás miatt, amely magában hordozza az új biotikus stresszorok megtelepedését is. Az új búzafajták igen jó potenciális terméshozammal bírnak, ám ezt nem tudják elérni a fent említett okok miatt. A potenciális termőképesség és a realizált termés közti különbségnek csak 30 %-át okozzák a kórokozók és kártevők. A fennmaradó 70 %-ért az abiotikus tényezők okolhatók. Az előrejelzések szerint a klimatikus tényezők közül a hőmérsékletemelkedés és a csapadék időbeli és térbeli eloszlásának változása fogja okozni ennek legnagyobb hányadát.

A szélsőséges időjárási hatások nagy befolyással vannak a gabonanövények fejlődésére is. Az aszály például kiválthat idő előtti kényszerérést, amelynek következményeként a termés mennyisége és minősége csökken.

Hazánkban is nagy erőfeszítéseket tettek, hogy a növények környezetét kedvezőbbé tegyék (melioráció, intenzív kémiai inputok: műtrágyák, növényvédő szerek), de a mezőgazdaság új, fenntartható irányzatának megjelenésével és elterjedésével más eszközökhöz szükséges nyúlni. Az elmúlt évtizedben előtérbe került a kalászos gabonanövények genetikájának, ezen belül főként a szárazságtűrő képességének vizsgálata, valamint a stressztűrő képesség javítása. E mellett a termésbiztonság is alapkövetelmény a növénynemesítők számára. Az abiotikus hatásokkal szembeni tolerancia és a termőképesség stabilizálására irányuló nemesítésben nagy szerepet játszanak a faj-, illetve nemzetség keresztezések. Ezek nem csak a kutatásban töltnek be fontos szerepet, hanem a búza variabilitását is növelik, ami a növénynemesítők munkájának eredményeként pozitív hatású a mezőgazdasági termelésre nézve.

A magyar búzanemesítés történetében különböző korszakok követték egymást aszerint, hogy a nemesítők milyen módszerekkel dolgoztak és milyen eredményeket értek el. Célirányos búzanemesítésről 1865-től beszélhetünk. Mokry Sámuel nevéhez fűződik ez az úttörő munka, amelyet valószínűleg az 1863-as évi aszály és az akkori kedvezőtlen gazdasági helyzet motivált. Ezt megelőzően csak ösztönös, tömegszelekcióra épülő nemesítést feltételezhetünk írásos adatok hiányában. A hivatalos publikációkba és a köztudatba csak az 1873-as rozsdajárvány emelte be a búzanemesítést. A termesztett búza rokonsági körébe tartozó vad-és kultúrfajok

rendkívül nagy genetikai diverzitással rendelkeznek, ezért értékes génforrások a nemesítés számára.

Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének Génmegőrzési és Organikus Nemesítési Osztályán Dr. Lángné Dr. Molnár Márta osztályvezető irányításával létrehozott faj-, illetve nemzetségkeresztezésekből származó addíciós, szubsztitúciós és transzlokációs vonalakkal több éve folytatnak vizsgálatok a PE Georgikon Karán. A Martonvásáron létrehozott hibrid származékok citológiai ellenőrzött, stabil vonalait vizsgálatuk. A 2013-2014 évi tenyészedényes kísérlet eredményeit értékelem a dolgozatomban.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 A búza

2.1.1 Származása

A búza (*Triticum aestivum* L.) Délnyugat-Ázsiából származik. A legrégebbi nyomokat Szíriában, Törökországban és Jordániában találták a növény létezéséről. Más leletek arra utalnak, hogy a búza termesztésbevonását a Nílus völgyében kezdték Ke. 5000-ben és ezzel körülbelül egy időben már Kínában és Angliában is nagyobb mennyiségben termesztették. Amerikába 1602-ben került. Az emberiség legfontosabb táplálékául szolgál ez a növény. A története során sok vad fajjal keresztezték, hogy növelni tudják ellenállóságát és termőképességét (LANCE és mtsai, 2002).

2.1.2 Termesztése világban és Magyarországon

A búza kiemelkedő szerepet tölt be a táplálkozásunkban. Ez a gabonaféle a legnagyobb területen termesztett növény a világon. Az Európai Unióban 25.654.000 ha a vetésterülete (1. táblázat), Franciaországban és Németországban termesztik a legnagyobb területen, évente 38, illetve 25 millió tonna termést betakarítva .

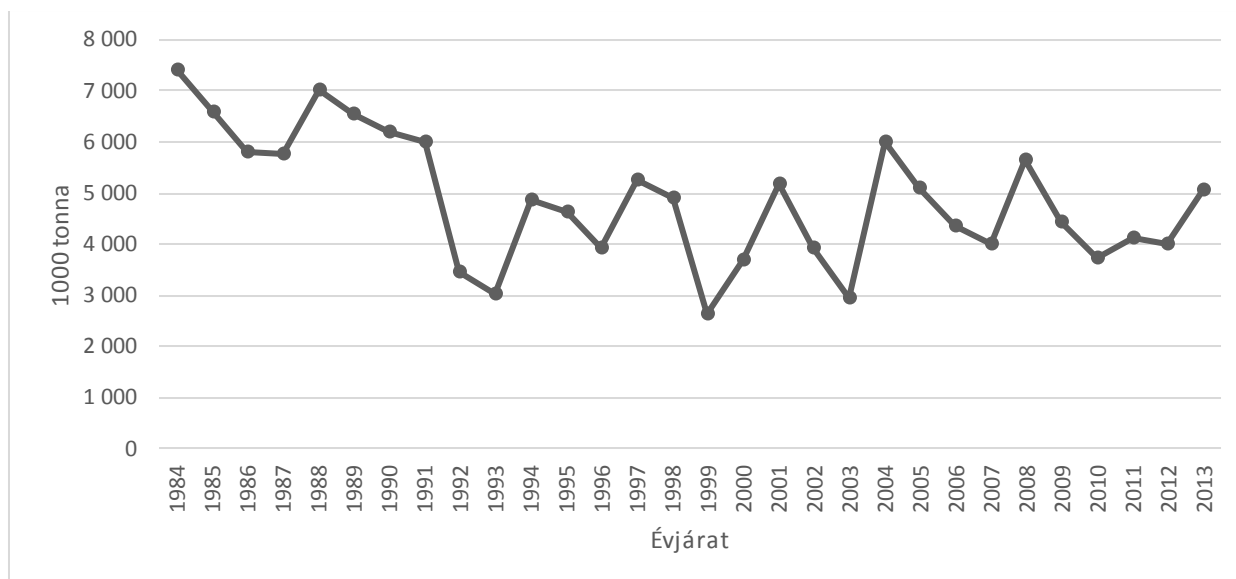
1. táblázat: A világ, az Eu és Magyarország búza vetésterülete és betakarított termés mennyiség 2013-ban. (Eurostat, FAO)

Búza	világ	Eu	Magyarország
terület (1000 ha)	218.460,713	25.654,000	1.094,484
termés (1000 t)	713.183	133.200,8	4.011

Hazánkban a kalászosgabona-termesztésnek nagy hagyománya van, a búza a második legnagyobb területen termesztett növény a kukorica után. Vetésterülete 1,1 - 1,3 millió ha között alakul. 2013-ban 1 millió ha felett volt a vetésterülete és a betakarított termés meghaladta a 5

millió tonnát, 4,64 t/ha országos termésátlaggal. A búza exportunk pedig majdnem elérte a 1,5 millió tonnát.

A hazai búza termésátlagok a környezeti hatásokból eredő évjáráthatás következtében jelentős ingadozást mutatnak. Például, 2003-ban, és 2011-ben az aszály okozta a terméseszkkenést (1. ábra).



1. ábra: Hazánkban betakarított búza mennyisége 1984-2013-ig (Forrás: KSH)

2.1.3 Éghajlat és termőhely igény

A búza a kontinentális éghajlatot kedvelő gabonaféle. Hazánk adottsági kedvezőek a termesztésére, azonban számos környezeti tényező befolyásolja a termesztésének sikerességét. Az évjáráthatás nagymértékben befolyásolja a termésmennyiségét (LÁNG és BEDŐ, 1997). A magyar nemesítők munkájának köszönhetően a hazai fajták jó télálló képességgel rendelkeznek. Hótakaró alatt könnyen áttelelő növény, ám az egy hónapnál hosszabb hó borítás már kárt okozhat, amely a későbbi fejlődésében mutatkozik meg. Azonban hótakaró nélküli teleken is -18 - -20 °C-ig jól áttelel. A jó termés elérése érdekében 400-500 mm esőre van szüksége a vegetációban, de a megfelelő csapadékeloszlásnak is fontos szerepe van (IZSÁKI, 2004). A megfelelő mennyiségű őszi csapadék az egyenletes keléshez és kezdeti fejlődéshez szükséges, míg a téli csapadék (főként hó formájában) a kora tavaszi fejlődéshez

elengedhetetlen (RAGASITS, 1994). A termés kialakulása szempontjából kritikus a kalász differenciálódás időszaka, amely során eldől a növényenkénti kalászszaám és a kalásonkénti szemszáam maximuma. Száraz kora tavasz esetén csökken a kalászszaám és kaláson kifejlődhető szemek száma, így a termés is (KHAN és NAQVI, 2011). A virágzást követően bekövetkező vízhiány hatására lerövidül a szemtelítődés ideje, és csökken az ezerszemtömeg is (HOFFMANN és mtsai, 2006).

A búza nem tolerálja jól a sekély termőrétegű talajokat, vagy az eketalp betegségben szenvedő földeket, mivel gyökérzete nem elég erős, hogy hatékonyan át tudjon törni az ilyen rétegeken. A belvizes helyeken termesztett növényektől is csak szárazabb tavaszokon lehet jó termést várni (KRUPPA és mtsai 2007).

2.1.4 Jelentősége

Hazánk klimatikus és talajtulajdonságai következtében a kalászos gabonák nagy szerepet játszanak a mezőgazdasági termelésben. A szántó területének hagyományosan mintegy 35 %-át foglalják el, amelyből a búzát termesztik a legnagyobb területen. Széleskörű elterjedésének oka az élelmezésben betöltött mára már nélkülözhetetlen szerepe. Magyarországon első számú kenyérgabonának az 1950-es években lépett elő. A takarmányozásban nem tölt be nagy szerepet hazánkban. Fontos megemlíteni, hogy a vetőmagtermesztésben és a fajtafenntartásban kiemelt jelentőségű. Az őszi vetésű búzát a legtöbb gazda előnyben részesíti, mert az őszi búza korábbi kalászhányása miatt a szemtelítődés már alacsonyabb hőmérsékleten elkezdődik. Előveteménynek kiváló, mivel korán lekerül a földekről, és jó humuszttermelő hatással rendelkezik (LÁNG: 2004).

2.2 A rozs

2.2.1 Származása

A termesztett rozs (*Secale cereale* L.) gyomnövényként került be Európába, a búzával együtt. Először Észak és Északkelet-Európában terjedt el a növény, amelyet a kezdetekben a természetes szelekció alakított, majd amikor az ember felismerte hasznos mivoltát, tudatosan is nemesíteni kezdték. Így, ezeken a földrajzi területen legfőbb kenyérgabonává vált. Elsődleges géncentrumba azonos a búzáéval. A Rajnától keletre található meg, a másodlagos géncentrumba, ahol a búza számára már nem voltak kedvezők az éghajlati viszonyok.

Hazánkban a bronzkor óta tartjuk számon a rozst. A 70. szélességi fokig megterem. Hegyvidéki területeken, a nagyobb szélességi fokokon és a lazább talajokon a rozsnak sikerült kiszorítania a búzát. Az emberi szelekció következményeként csak a teljesen szilárd kalászsorsójú formája maradt fent a növénynek. Ez a tulajdonság különbözik a legjobban a mostani növényen az ősfajtól. Rendkívüli alkalmazkodóképességének köszönheti széleskörű elterjedését (KRUPPA, 2003).

Magyarországon termesztett és szelektált évelő rozs (*Secale cereanum*) fajták a kultúrrozs (*Secale cereale* L.) és a vad, évelő hegyi rozs (*Secale montanum* Guss.) fajkeresztezésből származnak. Ezek stabil fajhibrid növények, amelyek egyesítik az egyéves kultúrrozs és az évelő vadrozs kedvező tulajdonságait. Nagy termőképességgel, jó takarmányértékkel és kiváló rezisztenciával rendelkeznek. KOTVICS (1963) állította elő az első hibridet hazánkban, az 1950-es években. Ebből a hibridből később két fajtát nemesítettek ki, amelyek közül az egyik Kriszta (KRUPPA 2001), a másik Perenne (FARKAS és mtsai 2005) néven kapott állami elismerést. Az évelő rozs az egyéves kultúrrozshoz hasonlóan, kiválóan tolerálja a kedvezőtlen termőhelyi adottságokat, jó szárazságtűrő és a talajjal szembeni igénytelen (KRUPPA 2003).

2.2.2 Termesztése a világban és hazánkban

Az elmúlt 15 évben a világ átlag rozs termelése 30 millió tonna (2. táblázat). Ennek 94 %-át Európában termelik meg. Oroszország a legnagyobb termelő (3,98 millió tonna). Zord éghajlata, de sok termőterülete révén Lengyelország áll rozstermesztésben a második helyen a maga 3,69 millió tonnájával. A harmadik legnagyobb termelő Németország, 3,65 millió tonna rozst termelt átlagosan az elmúlt 15 évben.

2. táblázat: A világ, az Eu és Magyarország rozs vetésterülete és betakarított termés mennyiség 2013-ban. (Eurostat, FAO)

Rozs	világ	Eu	Magyarország
terület (1000 ha)	5.758,283	2.582,623	32,605
termés (1000 t)	16.695,636	9.870,6	95

Hazánkban elhanyagolható a rozs vetésterülete a főbb gabonafélékéhez képest, mintegy 35.000 hektáron termesztik (KSH). Évente a kb. 100 ezer tonna rozs a hazai gabonatermés 1 %-a (HIDVÉGI, 2007). A 2012-es termésátlaga 2,24 t/ha volt, ami alig maradt el az előző évi csapadékos év átlagától.

2.2.3 Éghajlat és termőhely igény

Mivel hazánkban a rozstermesztés háttérbe szorul, így a nemesítésére sem fektetnek nagy hangsúlyt. Míg a többi gabona termésátlaga rohamosan nőtt az intenzív fajtáknak köszönhetően addig a rozsé szinte változatlan maradt. Ebben az is közrejátszik, hogy a növény a legrosszabb termőterületekre szorult, ahol megközelíteni sem tudja a potenciális 4-5 tonnás termőképességét (KRUPPA 2003). A gyengén humuszos és lazább talajokat kedveli, de a sekély termőrétegen is megterem. Gyökérzete jól fejlett, erősebb az összes gabonafélénél. A búzánál hűvösebb, csapadékosabb éghajlatot kedvel (HIDVÉGI 2007), de fejlett gyökérzetének köszönhetően jól tűri a szárazságot is. A jarovizációhoz alacsonyabb hőmérsékletet és hosszabb időt igényel, mint a búza (CSAJBÓK, 2011).

A rozs jobb vízhasznosítással, a kedvezőbb tápanyag-hasznosító képességgel, a kórokozókkal szembeni rezisztenciával és alkalmazkodóképességgel, kedvezőbb az aminosav-tartalma és összetétele a búzánál (IZSÁKI, 2004).

2.2.4 Jelentősége

A legsokoldalúbb gabonafélénkről van szó. Kenyérgabonaként a XX. század közepéig jelentős volt a rozs szerepe, amelyet később felváltott a búza. Napjainkban hagyományosan takarmány növényként termesztik, de újra kezd előtérbe kerülni az egészséges táplálkozás térnyerésével, és a változatos étrend fenntartása érdekében. Melléktermékei is értéket képeznek; a rozs korpája

kiváló abraktakarmánynak számít, szalmáját is felhasználja az állattenyésztés. Régebben zsuppszalmának is használták, vagy akár facsemeték csomagolására. Ezeken kívül kiváló zöldtakarmánynövény. A fenntartható gazdálkodást szem előtt tartó gazdák erőszerezettel vetik zöldtrágyának. A nagyobb lejtőkön elhelyezkedő ültetvényekre is szívesen vetik zöldtrágyaként és ezzel együtt kihasználják gyökérzetének talajvédő tulajdonságait. (BOROS és mtsai, 1994) A rozs hazánk homok területeinek növénye, az év nagy részében teljes fedettséget ad, így a szél által okozott talajelhordás kiküszöbölése mellett a csapadékvíz talajleemosó hatását is megakadályozza (IZSÁKI, 2004).

2.3 A faj-és nemzetséghibridek szerepe a búzanemesítésben

Az eltérő fajok keresztezése évszázadok óta érdekli a biológusokat, már a XVIII. században is beszámoltak különböző növényfajok hibridjeiről. Az első sikeres búza-rozs, búza-tarackbúza keresztezésről 1876-ban számoltak be bár ezek a hibridek még teljesen sterilek voltak (WILSON, 1976). Néhány évvel később viszont sikerült szaporodóképes búza-rozs hibrideket előállítani. A sikerek hatására számos országban faj- és nemzetségkeresztezési programok indultak, köztük Magyarországon is. A termesztett gabonafélék kiemelkedő génforrásainak számítanak a vad fajok, mivel ezeket az ember nem nemesítette, így nagyfokú genetikai sokféleséggel rendelkeznek. A vad fajok nagy hányada jelentős mértékű abiotikus és biotikus rezisztenciával rendelkezik. Ezek átvitele a termesztett fajokba rendkívül hasznos (LÁNGNÉ MOLNÁR, 2011).

A vad fajokkal való keresztezésen kívül fontos génforrások a rokon gazdasági fajok (rozs, árpa), melyek megannyi a búzától eltérő jó agronómiai tulajdonsággal bírnak.

A rokon, és vad fajok ivaros úton keresztezhetők a búzával, így az idegen fajú génátvitel létrejöhet, faj- és nemzetség hibridek formájában. Ezekből a hibridekből búzával végzett visszakeresztezésekkel addíciós vonalak állíthatók elő, amelyek az idegen fajnak már csak egy pár kromoszómáját tartalmazzák a búza genom mellett (LÁNGNÉ MOLNÁR, 2006). A létrehozott addíciós vonalakon a fajok pontos citogenetikai, kromoszóma azonosítását is elvégzik. Ez a génátvitel módszer nem GM növényeket produkál, mivel a különböző fajból származó kromoszómák meiózisában történő párosodásán, majd átrendeződésén alapul. (LÁNGNÉ MOLNÁR: 2011).

2.4 Búza-rozs addíciók

A búza termesztett rokonai közt találhatók, olyan fajok, amelyek a korábban leírt ivaros úton keresztezhetők a búzával. Ezeknek a fajoknak olyan hasznos agronómiai tulajdonságaik vannak, amelyek nem lelhetők fel a *Triticum aestivum* L. fajban. A rozs (*Secale cereale* L.) biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni széles toleranciával rendelkezik, a búzánál toleránsabb többek között a levélrozsdával és a lisztharmattal szemben, valamint a termesztés körülményeivel, környezeti hatásokkal és a talajjal szemben is igénytelenebb.

Wilson sikeres munkássága intenzív kutatásokat ösztönzött a búza-rozs kombinációk előállításával kapcsolatban. Ennek eredményeként ma Magyarországon is körülbelül 100 ezer

hektáron természetesen tritikálét, amely a fajtakeresztezésből eredő első szintetikus növényfaj (KISS, 1968).

Az idegen fajú hibrid vonalak előállítása hosszadalmas és bonyolult folyamat. Elsődleges problémát az okozza, hogy a szülőpartner fajok eltérő kromoszómaszámú sejtjeinek egyesülésekor, az endospermium fejlődése zavart, vagy nem is jön létre a táplálósövet (LÁNGNÉ MOLNÁR, 2011). A hibrid embriók szemből való kipreparálása után *in vitro* táptalajon létrehozott embriókultúra hatására életképes hibridek hozhatók létre (LÁNGNÉ MOLNÁR, 2011).

Az idegen fajú addíciós vonalak létrehozására többféle módszert használnak. Ezek közül a legismertebb az O'Mara (1940) által publikált technika. A módszer amfidipliod növények előállításán, majd ezek a recipiens vonallal történő visszakeresztezésén alapul. A kolhicines kezelés a fajhibridek kromoszóma készletének megkettőződését eredményezi, így a fertilis növények nevelhetők (SUTKA, 2004). Az addícióval előállított F1 növényekben a búza 42 kromoszómáján kívül megtalálható a rozs valamennyi haploid kromoszómája. A visszakeresztezések során a rozs kromoszómái redukálódnak és már a második visszakeresztezésnél kiválogathatók olyan monoszómás addíciós vonalak, amelyek a búza genomja mellett már csak egy rozs kromoszómát foglalnak magukba. A monoszómás addíciókból diszómás addíciók jöhetnek létre az öntermékenyítés során, amennyiben az idegen kromoszóma mind a petesejten és mind a hímivarsejten keresztül átadódik. (LÁNGNÉ MOLNÁR, 2011).

Az addíciós vonalak alkalmasak az idegen – jelen esetben a rozs kromoszóma hatásának vizsgálatára.

2.5 A klímaváltozás hatásai a kenyérgabona termesztésére

2.5.1 A klímaváltozás hatásai, következményei

A klímaváltozás alatt nem csak a globális felmelegedést kell érteni, hanem az éghajlat rendkívül nagy változékonyságát, és ennek következményeit az emberek életszínvonalában, az iparban, vagy a mezőgazdaságban (HUFNAGEL és SIPKAY, 2010). Ezt komplexen kell vizsgálni, és nem szabad csak egy bizonyos dolgot kiemelve beszélni róla. Persze a rengetek problémának a megoldását, sokszor csak a tényezők külön-külön vizsgálatával találhatjuk meg.

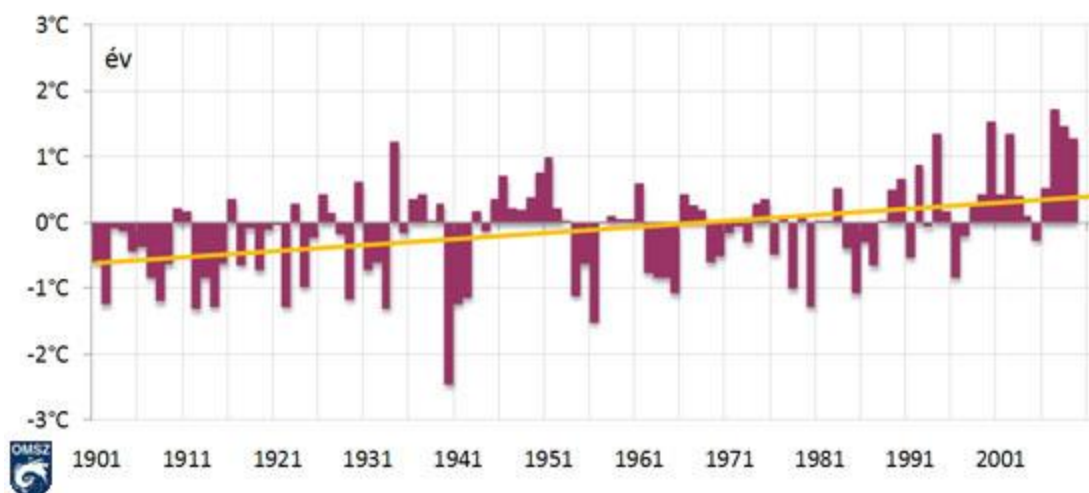
A klímaváltozás nem a mi életünkben kezdődött jelenség. A föld történelmében mindig is voltak hullámzó periódusok (HUFNAGEL és SIPKAY, 2010). Ma még nem dönthető el, hogy a Föld növekvő középhőmérséklete a természetes ingadozás része, vagy ez rámutat a növekvő üvegházhatásra (LÁNG, 2003). Mára már csak az a kérdés maradt, hogy e folyamatokat mennyiben befolyásolják az antropogén hatások. Ezt az IPCC (Éghajlat-változási Kormányközi Testület) 2007-es negyedik értékelő jelentése is megfogalmazza: *„Mára már egyértelműen kimutatható, hogy bizonyos gazdasági tevékenységekből, életviteli szokásokból adódóan a földi légkörben gyors ütemben növekszik a globális éghajlatváltozást kiváltó - üvegházhatású - gázok mennyisége. Ennek következtében jelentős mértékű felmelegedés alakulhat ki, ami együtt jár a csapadékviszonyok megváltozásával, gyakoribb és súlyosabb károkat okozó szélsőséges meteorológiai jelenségekkel, a világtengerek szintjének emelkedésével és mindezek számottevő természeti, társadalmi és gazdasági következményeivel.”*

A globális klímaváltozás hatására a szélsőséges időjárási körülmények előfordulási gyakoriságának növekedésével kell számolnunk. Az abiotikus tényezők közül kiemelt szerepe van a szárazságnak, amely jelentős termésvesztést okoz a növénytermesztésben.

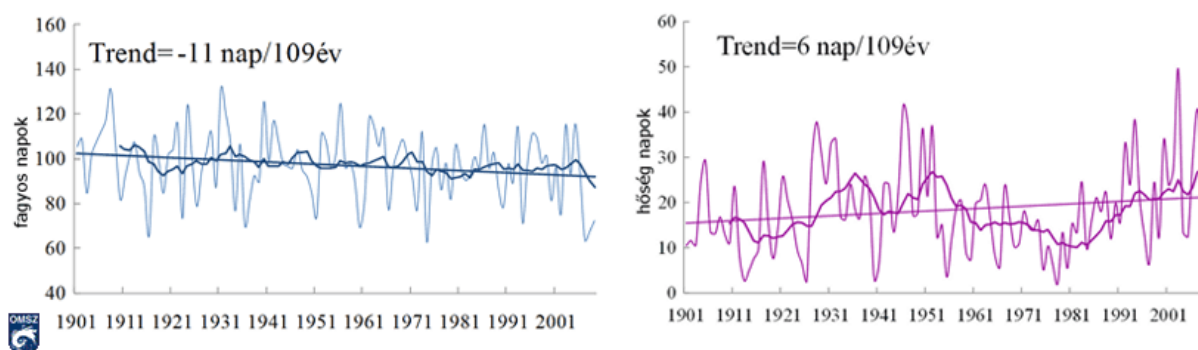
A szárazság a csökkenő csapadékmennyiség következménye és sokszor magas hőmérséklettel is párosul. A vízhiány jelentősen korlátozza a mezőgazdasági termelést és csökkenti a termést. Bár a globális édesvíz készlet kb. 70 %-át a mezőgazdaság használja fel és a mezőgazdasági területek 40%-át öntözik. Egyrészt azért korlátozó tényező, mert a terméshozamok mennyiségét is meghatározza, másrészt pedig a termelésbe vont terület méretét is korlátozza. A helyzetet tovább rontja a globális klímaváltozás trendje, ez arra enged következtetni, hogy további száraz területek térhódítása várható a jövőben (SÁRVÁRI és mtsai, 2006).

2.5.2 Klímaváltozás hatásai a Kárpát-medence területén

Az elmúlt 100 év a középhőmérsékleti és az extrém hőmérsékleti adatai alapján fokozatosan melegedő tendencia tapasztalható a Kárpát-medence időjárásában (2. ábra), a hideg napok száma csökkenni látszik, míg a hőség napok száma nő (3. ábra).



2. ábra: Magyarország évi középhőmérsékletének anomáliái (°C) 1901 és 2009 között. Az értékeket az 1971-2000 időszak átlagaihoz viszonyítottuk. (Forrás: OMSZ)



3. Ábra: fagyos és a hőség napok éves számának időszora (hazai rácspontok átlaga alapján) a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel 1901-2009 között. (Forrás: OMSZ)

Ha a melegedést évszakokra is jellemezzük, akkor nyáron a legnagyobb a mértéke és tavasszal érzékelhető a legkevésbé. A napi minimum és maximum hőmérsékletet is hasonlóan lehet felvázolni, mint az átlaghőmérsékletet. A növekedés természetesen lokálisan változik, a

megfigyelések szerint északról dél fele egyre nagyobb hőmérsékletemelkedésre lehet számítani.

A várható hatásokat összegezve hazánk területére: tél kivételével a várható napi minimum hőmérsékletek kevésbé fognak nőni, mint a napi maximum hőmérséklet, és az átlaghőmérséklet emelkedéséhez hasonlóan a legnagyobb melegedésre nyáron számíthatunk (HARNOS és mtsai, 2008).

Az édesvíz legnagyobb fogyasztója a mezőgazdaság, ugyanakkor a mezőgazdasági termelést a legnagyobb mértékben a vízhiány korlátozza (BACON, 2004). Nem csupán a csapadék mennyiségét, hanem annak intenzitását és az eloszlását is figyelembe kell venni. Az 1975-ös évtől Magyarország csapadék tendenciái kirívóan eltérnek az ez előtt feljegyzett adatoktól. Míg az elmúlt fél évszázadban a csapadék szélsőséges jelenségei csökkentek addig az utolsó 25 évben növekedési tendenciát mutattak. Az európai térség északi részén ebben az időszakban a csapadék mennyisége növekedett, míg délen csökkent. A Kárpát-medence a két zóna határán fekszik, így nem lehet igazán szétválasztani a kettő hatást egymástól. A térséget egy meghatározóan negatív trend jellemzi, így a csapadékos napok száma is csökkenni fog a várakozások szerint (HUFNAGEL és SIPKAY, 2010).

Az IPCC jelentése alapján a térség mezőgazdaságát nagyban befolyásolni fogja a szélsőséges csapadék jelenségeknek egyre gyakoribb jelentkezése. Nagy csapadékintenzitás lesz várható a megfigyelések szerint, viszont az évi csapadékösszegben nem lesz változás. Így kézenfekvő az elmélet, ha a csapadék egyszerre nagy mennyiségben hullik, viszont az éves mennyisége nem változik, akkor az eloszlásban nagy problémák várhatóak. A vizsgálatok alapján nyáron és kisebb mértékben ősszel a térségben csökkenni fog az előző évekhez képest a csapadék, míg az év másik felében növekedést jósolnak. A modell szerint a legcsapadékosabb évszakok a tél és a tavasz lesznek. (HARNOS és mtsai, 2008; HUFNAGEL és SIPKAY, 2010).

2.6 Abiotikus stresszek

2.6.1 Szárazságstressz

Ha a környezet vízszolgáltató képessége kisebb, mint a növény vízszükséglete, akkor alakul ki a szárazságstressz (BLUM, 1988). Lehet abszolút vízhiányról beszélni, amikor a növény-környezet kapcsolatban nincs elegendő víz, és lehet relatív vízhiányról, amikor az intenzív evapotranszpiráció miatt a növény képtelen pótolni a vízigényét, noha az megtalálható a környezetében.

Ha a mezőgazdaság szempontjából vizsgáljuk a kérdést, akkor elsődleges szempont a szemtermés létrejötte, mennyisége és minősége. A szárazságtűrés az optimális és az aszályos körülmények közt mért termés arányával fejezhető ki. Tehát a nemesítők szempontjai is hasonlóak, nagyobb hangsúlyt fektetnek a termést növelő tényezőkre, mint a szélsőséges szárazságot túlélni segítő tulajdonságokra (HOFFMANN és mtsai, 2006).

2.6.2 Hidegstessz/fagystressz

A termesztett növények várható termés hozamát, és így az élelmiszeripar ellátását is jelentősen befolyásolják az abiotikus tényezők, amelyek akár 60 %-os termés kiesést is okozhatnak. Az őszi vetésű gabonáknál rendkívül fontos a fagyállóság. A fagy-stressz következményeként - hasonlóan más stresszhatásokhoz - felhalmozódnak a reaktív oxigénszármazékok, és így oxidatív stressz alakul ki a növényben, e mellett membránkárosodás, és a sejtek dehidratációja, ionvesztése is felléphet (KOCZY, 2009). A tartós fagy a vízfelvételt gátolja, így a növényben ozmotikus problémák is jelentkezhetnek (ÉVA, 2014).

2.6.3 A stressztolerancia növelése

A legtöbb európai búzanemesítő irányzat átállt arra a rendszerre, hogy alacsony növényeket érdemes előállítani és tovább nemesíteni. Ez azért előnyös, mert így a növénynek nem kell annyi energiát fordítani a zöld részek felépítésére. A vegetációt pedig a hő és szárazság stressz gyakoriságának függvényében rövidebbre vagy hosszabbra programozzák. Így egyértelmű, hogy lehetetlennek tűnik olyan fajtát előállítani, ami Európa bármely búzatermő területén helyt tudna állni. Klímazónánként kell kinemesíteni az adott hely agroökológiai feltételeihez jól alkalmazkodó fajtát. Ha a hő és a szárazság stressz gyakran jelentkezik, akkor rövid

tenyészidejű növényeket kell vetni, hogy minél több stressz hatást elkerülhessen. Így a hozamok kisebbek lesznek viszont stabilabbak is. Ha a környezeti stresszorok nem annyira meghatározóak az adott területen, érdemes hosszú tenyészidejű növényeket vetni, mivel így lesz kellő idő a szerves anyagok felépítésére, nagyobb a biomassa, és nagyobb szemtermés előállítására. (M.A. SEMENOV és mtsai., 2014)

2.7. A gyökér szerepe a szárazságtoleranciában

A gyökérzet lényeges szerepet játszik a növény szárazságadaptációjában. A talajjal közvetlen kapcsolatban lévő gyökér érzékeli először a növény részei közül a vízhiányt (PASSIOURA, 1988). Érzékenyen hat a szárazság a gyökér feladatai közt a respirációs folyamatokra, víz és tápanyag felvételre, a hormonok termelésére és azok továbbítására. A szárazságtűréssel foglalkozó eddigi kutatásokban sokkal kisebb szerep jutott a gyökér vizsgálatára, mint a föld feletti részekére, ezt a gyökerek vizsgálatának nehézségével magyarázzák.

Gyakori jelenség, hogy mikor már a talaj felső rétege kiszáradt, az alsó részeken még bőven van felvehető nedvességtartalom. Valamennyi gyökér sikeres áttörése a száraz talajrétegen jelentősen javítja az aszály túlélésének potenciálját.

A szárazságtűrő növényeknek általában elágazó gyökérstruktúrája van. A gyökérhossz sűrűségét (RLD=root length density) a talaj térfogategységére eső gyökérhosszal (gyökér cm, talaj cm^{-3}) határozzuk meg. Az RLD a felszíni talajrétegekben tetőzik és exponenciálisan csökken a mélyebb rétegek felé. A föld kiszáradása azonban megváltoztatja a gyökérsűrűség mélységi eloszlását. SMUCKER és munkatársai (1991) szerint aszály esetén a felső kb. 20 cm-en elhal sok gyökér és ezek aránya mélyebb rétegekbe tolódnak át. A gyökér nedvesség felvevő képessége viszonyul az RLD értékéhez. Azt a jelenséget, mikor a növény gyökere illetve a gyökérszőr fejlesztése áttolódik a mélyebb és nedvesebb talajrétegek felé, gyökérplaszticitásnak nevezzük. A szárazságtoleránsabb növények fokozottabb mértékben hajlamosak gyökérnövekedés átcsoportosítására a nedvesebb talajrétegek felé. (HOFFMANN és mtsai, 2006)

2.8: A fotoszintézis alakulása szárazságstressz idején

A stresszfiziológia egyik legfontosabb része a fotoszintézis aktivitásának a megfigyelése stresszelt körülmények között. A szénasszimiláció és a sztómafiziológiai folyamatok tanulmányozása egymástól elválaszthatatlanok, mivel a sztómákon keresztül zajlik a párologtatás és a CO₂ felvétel. A növények nem rendelkeznek olyan membránnal mely átjárható a szén-dioxid számára viszont a vízgőz számára átjárhatatlan, így a CO₂ felvételének nagyságrendekkel nagyobb vízveszteség a velejárója. Így szárazságstressz hosszabb jelenlétekor a klorofill aktivitás csökken, így a fotoszintézis sem fog megfelelően működni, és a termés is várhatóan csekélyebb lesz (HOFFMANN és mtsai, 2006).

3: Saját vizsgálatok

3.1: Anyag és módszer

3.1.1 Vizsgált növényanyag

A búza x rozs addíciós vonalak az Mv9kr1 fajta, valamint Kriszta rozsfajta keresztezéséből származnak. A Kriszta rozsfajta maga is fajhibridből (*S. cereale* × *S. moutanum*) szelektált fajta. A keresztezésben szereplő szülő partnerek (őszi búza Mv9kr1, ill. Kriszta rozsfajta) mellett a búza x rozs hibridekből előállított, citológiai ellenőrzött, stabil diszómás addíciós vonalakat vizsgáltuk: 1R, 4R, 6R, melyek a búza genom mellett a Kriszta rozsfajtából származó 1., 4., illetve 6. kromoszómát is tartalmazzák. A vizsgált búza-rozs fajhibrideket az MTA Agrártudomány Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetében Martonvásáron, dr. Lángné dr. Molnár Márta osztályvezető irányításával hozták létre.

3.1.2 Tenyészedényes vizsgálatok körülményei

A kísérlet a P.E. Georgikon Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék üvegházában Keszthelyen történt. Genotípusonként 20-20 szemet csíráztattunk, kivéve a nehezen csírázó Kriszta rozst, amelyből 30 szemet csíráztattunk. Csíráztatás előtt a szemek felületét fertőtlenítettük, 30 percig Ultrasoil-os, folyóvízben mostuk, majd 70 %-os alkohollal lefűjtük és folyóvízben újra átmostuk. Ezután a szemeket 10 percig 2,5 %-os Hypo-Tween oldatban áztattuk, majd ioncserélt vízben 3× átmostuk. A fertőtlenített szemeket petri-csészében csíráztattuk.

A csírába indult növények kvarchomokba lettek helyezve, majd tenyészedénybe ültetve 2014.01.07-én. Mindegyik tenyészedénybe 2-2 növény kapott helyet, hogyha az egyik növény elpusztul, legyen helyette pótlás. Melyeknél mindkettő életrevaló volt ott egyelés történt. A tenyészedények 75 cm magas merev falú, 11 cm átmérőjű PVC csövek voltak, amelybe alul kilyukasztott, 10 cm átmérőjű és 80 cm hosszú polietilén zacskót helyeztünk, a zacskók aljába flitterpapír került. A növények megtámasztására fa pálcákat alkalmaztunk.



4. ábra: A kísérlethez használt speciális tenyészedények (fotó: Aranyi Nikolett)

A csövekbe 9,4 kg, #30 szemcseméretű kvarchomok került, úgy, hogy felül 2-4 cm magasan maradt hely az öntözésre. Ebbe lettek helyre ültetve a csírázott növény párok. A növények kiültetése előtt az ültető közeg a szántóföldi vízkapacitás 50 %-ára lett benedvesítve. A tápanyag 50 %-os Hoagland tápoldattal (3. táblázat) volt pótolva, az öntözővízzel együtt kijuttatva.

3.táblázat: A tápanyagpótlásra használt Hoagland-tápoldat összetétele.

1 l 0,5-ös erősségű Hoagland-tápoldathoz (pH= 5,8) szükséges törzsoldatok	
makro törzsoldat	50 ml
mikro törzsoldat	0,125 ml
RM II. törzsoldat	10 ml
makro törzsoldat összetétele 1 l-re számítva, desztillált vízben oldva	
KNO ₃	5,055 g
Ca(NO ₃) ₂ * 4 H ₂ O	11,81 g
MgSO ₄ * 7 H ₂ O	4,932 g
KH ₂ PO ₄	1,361 g
mikro törzsoldat összetétele 100 ml-re számítva, desztillált vízben oldva	
H ₃ BO ₃	286 mg
MnCl ₂ * 4 H ₂ O	362 mg
ZnSO ₄ * 7 H ₂ O	22 mg
Na ₂ MoO ₄ * 2 H ₂ O	12 mg
CuSO ₄ * 5 H ₂ O	8 mg
RM II. törzsoldat összetétele 1 l-re számítva, desztillált vízben oldva	
Na-Fe(III.)- EDTA	4 g

Két kezelést alkalmaztunk. A stressz kezelés alatt álló növények fele annyi vizet kaptak, mint a kontroll kezelés növényi. A vízmegvonás szárbainduláskor kezdődött meg (2014. 04. 03.). A stresszelt növények öntözővizét úgy módosítottuk, hogy mindkét kezelésben egyenlő mennyiségű tápanyagot kapjanak a növények.

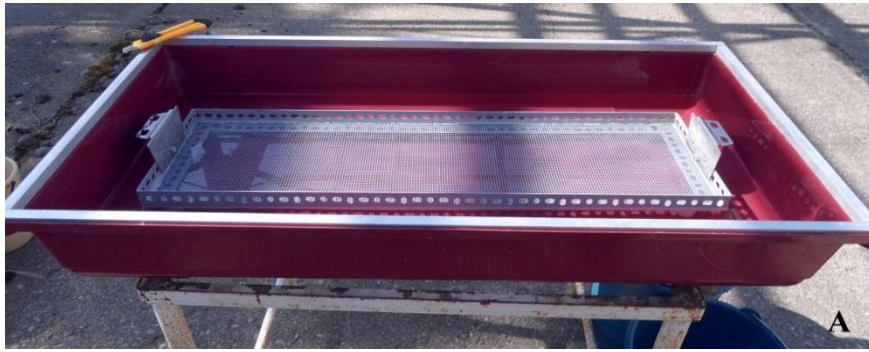
Felvételezésre került a gyökér száraztömege, a kalászok száma, a kalászkaszám, a szemszám/kalász, a szemtömeg/kalász, a levelek klorofill tartalma (SPAD) és a zászlóslevél öregedése különböző időközönként.

Az abiotikus hatások befolyásolják a növények fiziológiai állapotát, amelynek kiváló indikátora a levél klorofiltartalma. A vizsgálat során a könnyen kezelhető SPAD-502-es hordozható klorofill-méterrel mértünk. Ezt a módszert azért választottuk, mert egy levélből többször vettünk mintát, és a speciális tenyészedényes vizsgálat miatt kis növényállomány állt a rendelkezésünkre emiatt nem akartunk olyan módszert alkalmazni, ami kárt tesz a növényekben. Így egy olyan eljárást választottunk, amely a levelek optikai tulajdonságait használja ki a klorofill meghatározására. A SPAS-502 a relatív klorofill tartalmat becsli a levélen áteső fény mérésével. Mivel ez a műszer 6 mm²-es részt tud egyszerre mérni, így a levelekből 10 mintát vettünk és ezek átlaga adta meg egy levél klorofill tartalmát. A levél ereket, és egyéb elszíneződéseket kerültük a mérések során.

A zászlóslevelek öregedésének megfigyelését 2014. május 19 - június 25 között végeztük, összesen hét időpontban. A szeneszencia bonítálására 0-7 skálát használtunk, ahol a 0 a teljesen zöld, míg a 7 a teljesen elsárgult levelet jelenti.

A gyökereket az érés végén az aratással egy időben mostuk ki egy erre a célra kialakított eszközzel. (5.a. ábra). A polietilén zacskók segítségével a gyökerek sérülése nélkül ki lehetett helyezni a növények gyökereivel átszőtt homokot a PVC csőből a kimosásra használt rácsra. A zacskót egy szike segítségével eltávolítottuk (5.b. ábra) és finoman mozgatva a sűrű szövésű rácsot - hogy a gyökerek a legkevésbé sérüljenek - szét lett választva a homok a gyökérszettől (5.c. ábra). A gyökerek hosszának mérése után azokat kétfelé vágtuk: 0-30 cm (felszíni gyökerek) és 30 cm alatt (mély gyökerek) elhelyezkedő részekre. A gyökereket 60 °C-on, 24 órán keresztül szárítószekrényben szárítottuk, ezután mértük a gyökértömegét.

A kontroll és a stressz kezelések eredményeinek statisztikai összehasonlításra kétmintás, független t-próbát végeztünk, SPSS 16.0 statisztikai program segítségével.



5.a ábra: a növények gyökereinek kimosására alkalmazott mosókád és rács.



5.b. ábra: a növények gyökereinek kimosására alkalmazott mosókád és rács.



5.c . ábra: a kinyerni kívánt gyökér, mosás közben. (fotók: Aranyi Nikolett)

3.2 Vizsgálati eredmények és értékelésük

3.2.1 Virágzási idő

4. táblázat: A virágzási idők bemutatása. (A „különbség” oszlopba került a stresszelt és a kontroll növények virágzási idejének a különbsége napban megadva.)

Genotípus	virágzás kezdete		különbség	virágzás félideje		különbség	virágzás vége		különbség
	<u>kont.</u>	<u>stressz</u>		<u>kont.</u>	<u>stressz</u>		<u>kont.l</u>	<u>stressz</u>	
Kriszta	2014.06.08	2014.06.08	0	2014.06.09	2014.06.10	-1	2014.06.11	2014.06.12	-1
Mv9	2014.05.11	2014.05.10	1	2014.05.12	2014.05.11	1	2014.05.14	2014.05.13	1
1R	2014.05.11	2014.05.09	2	2014.05.13	2014.05.11	2	2014.05.14	2014.05.13	1
4R	2014.05.13	2014.05.10	4	2014.05.15	2014.05.11	4	2014.05.17	2014.05.13	4
6R	2014.05.21	2014.05.17	4	2014.05.22	2014.05.19	3	2014.05.23	2014.05.20	3

3.2.2 Gyökérvizsgálatok

Az Mv9kr1 szülő agronómiai tulajdonságainak javítása volt a búza-rozs addíciók létrehozásának célja. A Kriszta rozs alkotta a szülőpáros másik felét, amitől a javító tulajdonságok voltak várhatóak. A búza szülőpartner eredményeihez viszonyítottam a keresztezések eredményeit, így sikerült bemutatni az egyes rozs kromoszómák hatását az adott paraméterekre.

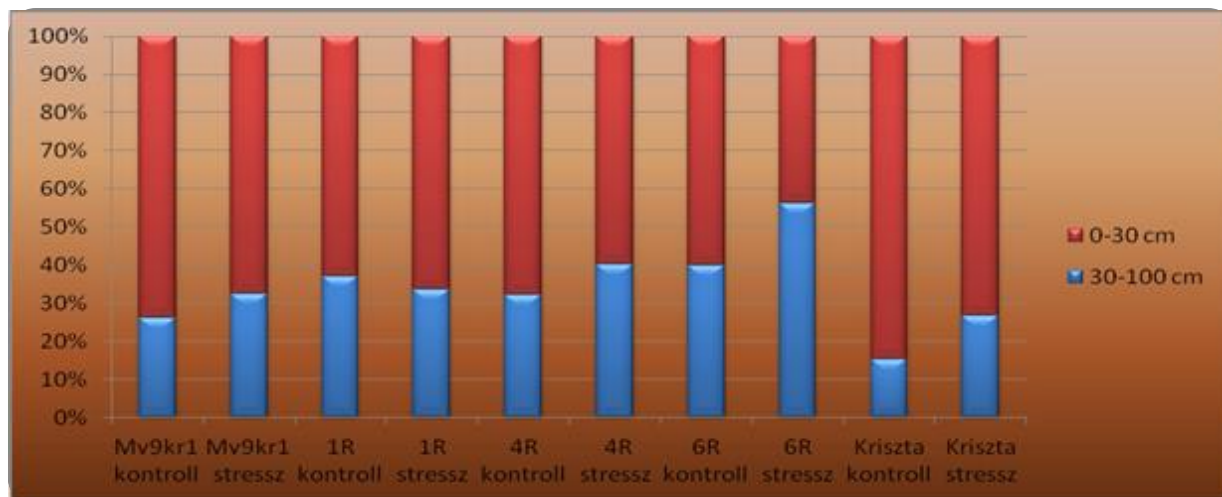
A rozsról közismert az erős gyökérzete, a Krisztánál - az évelő jelleg miatt - ez a tulajdonság különösen igaz. A gyökerek nagyobb hányada a termőközeg felső 30 cm-ében helyezkedik el (SZABÓ, 1987). Ez annak tudható be, hogy a mezőgazdasági termelésben is általában ez a felső réteg rendelkezik a legnagyobb talajérettel és ez a rész a leglazább, humusszal telítettebb és megmunkáltabb. Általában az ez alatt lévő rétegek tömörödöttebbek, és kisebb bennük a talajaktivitás.

A Kriszta gyökértömeg növelő hatása megmutatkozott az 1R és a 4R addíciós vonalaknál, de nem azonos mértékben (7. ábra). A 4R vonal gyökérzete növekedett a legnagyobb mértékben.

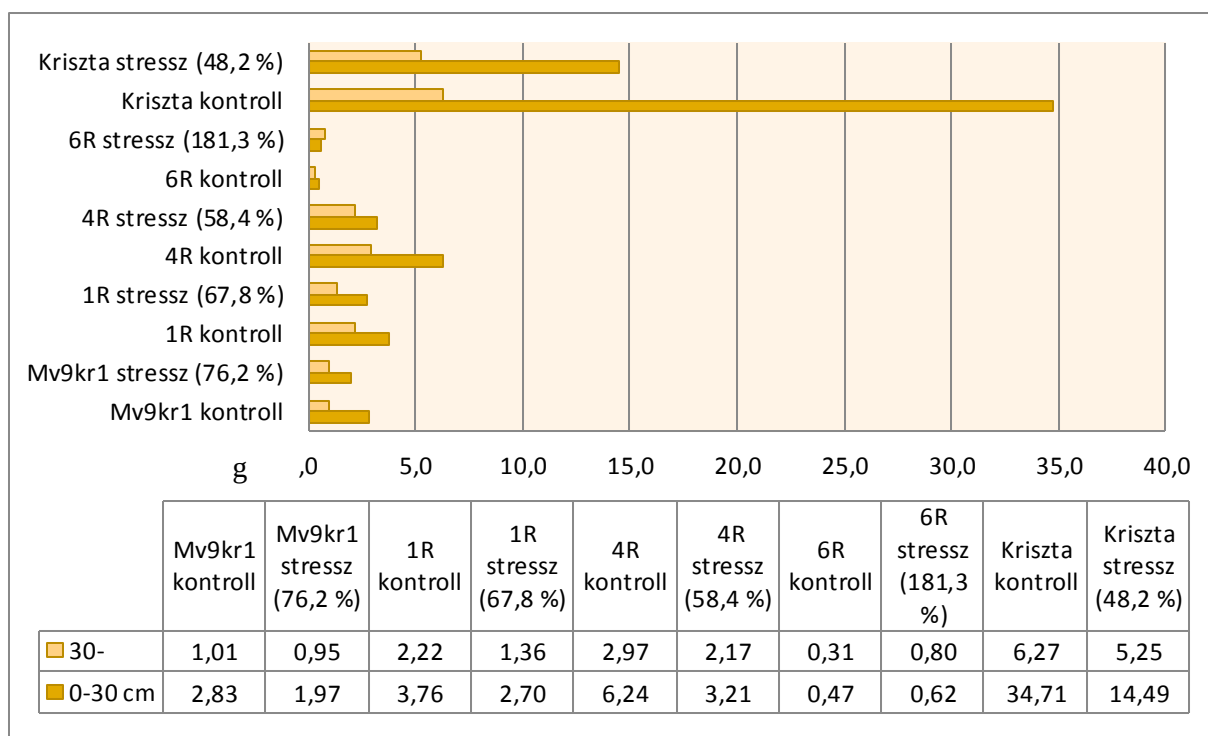
Az 1R gyökértömege kisebb mértékben növekedett a 4R-hez képest, azonban a stresszkezelés hatására kisebb arányban csökkent.

A vízmegvonásos kezelésnél az 1R kivételével a gyökerek az alsóbb rétegekbe tolódtak (6. ábra). A gyökértömeg mélyebb talajrétegek felé tolódása szabadföldi körülmények között a növények túlélését jelenthetik, mivel ha sikerül áttörni a száraz rétegeken, plusz nedvességhez és tápanyaghoz juthatnak a növények (HOFER, 1991). A 30 cm alatti, mély gyökerek tömegének aránya a Kriszta rozsnál nőtt a legnagyobb mértékben (74 %-kal) a vízhiány hatására, míg az Mv9kr1 búza szülőnél csupán 24 %-kal. A 4R addíció mély gyökértömegének növekedése relatív értékét tekintve a búza szülőével azonos volt (25 %), azonban abszolút értékét tekintve ennek a vonalnak volt a legnagyobb tömege az Mv9kr1 és a többi addíciós vonallal összehasonlítva.

A stresszkezelés hatására a gyökérszet össztömege mindegyik genotípusnál csökkent, kivételt képez a 6R addíció, azonban ennek a vonalnak volt a legkisebb a gyökértömege (7. ábra). Érdekes, hogy a 6R stresszkezelt növényeknél a 30 cm alatti gyökértömeg volt nagyobb. A többi genotípusnál tapasztalt gyökértömeg csökkenés megfelel HOFFMANN és mtsai (2006) tenyészedényes kísérleteinek eredményeivel, ahol a korai vízmegvonás hatására szintén a gyökértömeg csökkenését figyelték meg. Vizsgálatunk során tapasztalt gyökértömegcsökkenés csupán a Kriszta rozs szülőnél volt szignifikáns ($p=0,05$ szinten).



6. ábra: A gyökértömeg felső 30 cm-es és az alatti részének az össztömeghez viszonyított %-os megoszlása kezelésenként.



7. ábra: A gyökerek tömege (g) szintenként, kezelésenként és genotípusonként ábrázolva. A stresszkezelésben a genotípus neve mögötti, zárójelben álló szám a vízhiányos növények gyökerének a kontroll százalékaiban kifejezett értékét mutatja.

3.2.3 Klorofill tartalom

A növény a fotoszintézis segítségével állít elő minden szénhidrátot, ezért ez a mutató igen fontos a várható biológiai produkció előrejelzésében. A SPAD-érték felvételezése a vegetáció alatt kilenc alkalommal történt, de ebben a dolgozatban terjedelmi okok miatt három időpont eredményeit mutatjuk be, amelyek jellemzik a teljes vegetációs folyamatot. Az első mérés 2014. április 28.-án történt, a vízmegvonás 25. napján. Ekkor még nem fejlődtek ki a zászlóslevelek, amelyek nagy részben a szemtermés asszimilátákkal való ellátásáért felelősek, ezért alulról a harmadik levelet mértük. A második közölt mérés május 26.-án került felvételezésre, a vízmegvonás 56. napján, már a zászlóslevelekről, a tejesérés folyamán. Az utolsó közölt mérés június 4.-én, a vízmegvonás 64. napján készült. Ekkor már az Mv9kr1 búza szülő és a 4R addíciós vonal vízhiányos növényei már a viaszérés végén jártak, és a levelek már teljesen leszáradtak. Ezek az eredmények leolvashatók a 5. táblázatról.

A vízmegvonást követő 28. napon a Kriszta rozs, a 4R és a 6R addíció esetében 11-15%-os csökkenést tapasztaltunk a relatív klorofil tartalomban. Azonban a stresszhatás fokozódására, a

későbbi mérési időpontokban már mindegyik genotípus esetében jelentősebb csökkenést tapasztaltunk.

5. táblázat: Relatív klorofill tartalom (SPAD-értékek) alakulása a vízmegvonást követő 25. (2014.04.28.), 56. (2014.05.26.) és 64. (2014.06.04.) napon.

Genotípus	Kezelés	SPAD-érték		
		2014.04.28	2014.05.26	2014.06.04
Kriszta	kontroll	50,4	49,6	46,8
	stressz	43,2**	44,1**	32,5**
Mv9kr1	kontroll	47,3	45	27,9
	stressz	48,1	31,5*	-
4R	kontroll	52,3	56,4	50,2
	stressz	44,3**	27,2**	-
1R	kontroll	47,1	54,3	39,5
	stressz	52,6**	28,4**	15,6**
6R	kontroll	40,2	33,6	28,9
	stressz	35,4**	20,8**	17,1*

Megjegyzés: *,** szignifikáns különbség a kezelések között $p=0,05$ és $0,01$ valószínűségi szinteken.

A Kriszta rozs kontroll növényein az első vizsgálat idején a második legnagyobb relatív klorofill tartalmat mértünk a 4R után. A vízhiányos kezelésben áprilisban a 6R kivételével mindegyik genotípusnál alacsonyabb SPAD-értéket mértünk. A májusi mérésekkor viszont a vízhiányos növények zászlóslevelei magasabb SPAD értéket mutattak, mint a többi vizsgált genotípus kontroll növényei. Június elejére nem változott jelentősen a kontroll relatív klorofill tartalma, viszont a stresszelten már megmutatkoznak a vízhiány tünetei.

Az Mv9kr1 búza szülő kontroll növényeinek relatív klorofill tartalma a teljes érés végéig (jún. 04.) viszonylag magas értéket (45-48) mutattak, amely csak a növények öregedésével csökkent. Az első közölt mérésnél a vízhiány nem volt hatással a klorofill tartalomra. Azonban a május 26.-án mért stresszelt növények SPAD-értékei 30 %-os csökkenést mutattak a kontrollhoz képest. A búza szülő klorofill tartalma kevésbé csökkent a vízhiány hatására, mint az addíciós vonalaké, azonban a 4R és az 1R kontroll növényeinek zászlóslevelei 50 feletti SPAD-értéket mutattak, ami meghaladta a búza és a rozs szülő értékeit is.

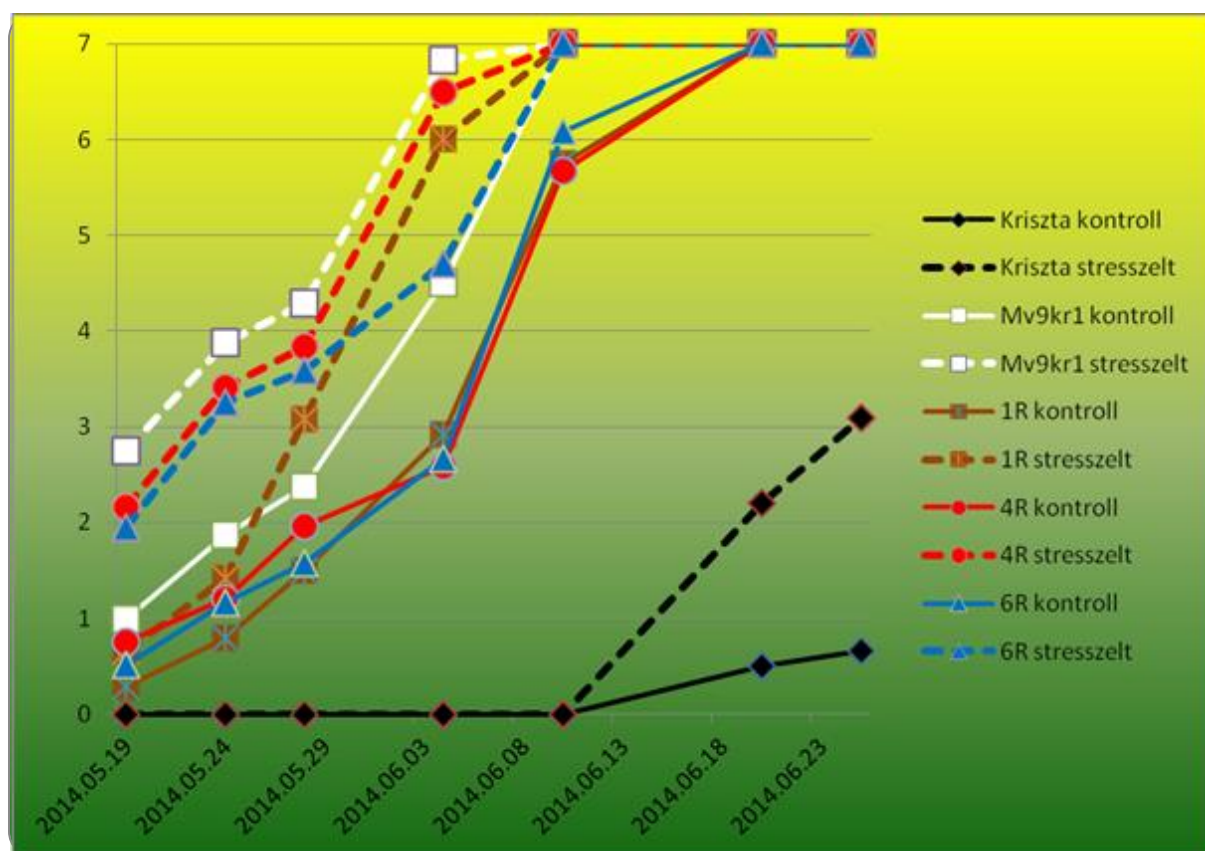
A 4R addíciós vonalnak a SPAD-értéke meghaladta a kontroll kezelésben a mindegyik vizsgált genotípus értékeit. Az első mérés idején hasonló nagyságú a Kriszta rozs klorofill tartalmához is. A stressz hatás ennél a vonalnál mutatkozott a legerőteljesebben.

Az 1R addíciós vonal klorofill tartalma április 28-án a kontroll kezelésben elérte az Mv9kr1 búzáét, viszont a Kriszta rozshoz és a 4R-hez képest kevesebb volt. Érdekes, hogy a stresszkezelt egyedeknél szignifikánsan nagyobb SPAD-érték figyelhető meg a kontroll növényekhez képest, és egyben ez a vonal adta mindegyik stresszelt genotípus közül a legnagyobb klorofill tartalmat. A második és harmadik közölt méréskor a stresszhatás fokozódott és elérte a növény zászlóslevelét, amely jelentős csökkenést (37 % és 65 %) okozott a klorofill tartalomban. A stresszelt növények SPAD-értéke a búza szülőénél kisebb volt. Az utolsó mérés idejére szinte megfeleződött a klorofill tartalom a stresszkezelésben, aminek a növények korai öregedése, és az érés az oka.

A 6R addíció április 28-án mért SPAD-értéke mindkét kezelésben kevesebb a többi vizsgált növényénél. A második mérésre a kontroll klorofill tartalma megegyezett az Mv9kr1, a 4R és az 1R vízhiányos növényeinek tartalmával. Mindkét kezelésben gyors klorofill tartalom csökkenést mutatott. A június 4.-i mérésnél az 1R és a 6R stresszkezelt növényei körülbelül megegyező klorofill tartalmat mutattak. Ekkor már a kontroll nem túlzottan haladta meg a stresszelt értékeit ennél az addíciós vonalnál. Az alacsony klorofill aktivitásból csekély szemtermésre lehet számítani.

3.2.4 Levélöregedés

A szárazságstressz hatására a növények előrehozott éréssel reagálnak, hogy a szemtermést mindenképp beérleljék, az utódnemzedéket biztosítsák. Ekkor az alsóbb levélszintekről a tápanyagot átcsoportosítják a kalászban növekvő termésbe. Ekkor a levelek öregedni, sárgulni kezdenek. A vízhiány felgyorsíthatja a növények öregedését és az asszimilátumok remobilizációját (YANG és mtsai., 2001). Azok a búza genotípusok, amelyek zászlóslevelei tovább maradnak zöldek, jobb terméshozamot adhatnak. A zászlóslevelek öregedésének folyamatát a 8. ábra mutatja be.



8. ábra: Zászlóslevelek levélöregedése genotípusonként és kezelésenként. (2014.05.19-2014.06.25). Az Y-tengelyen a levelek öregesését ábrázoltuk: 0-teljesen zöld, 1-csúcok elkezdett sárgulni, 2-levél harmada sárga, 3-levél fele sárga, 4-levél kétharmada sárga, 5-levéialap még zöld, 6- teljesen sárga, 7- teljesen száraz.

Az Mv9kr1 stresszkezelt növényeinél volt észlelhető az öregedés először. A 6R stresszkezeltjével mozog együtt az Mv9kr1 kontrollja. A 4R, 6R vízhiányos növényekben is megindultak korán az öregedési folyamatok, az 1R stresszeltje növényeinek zászlóslevele

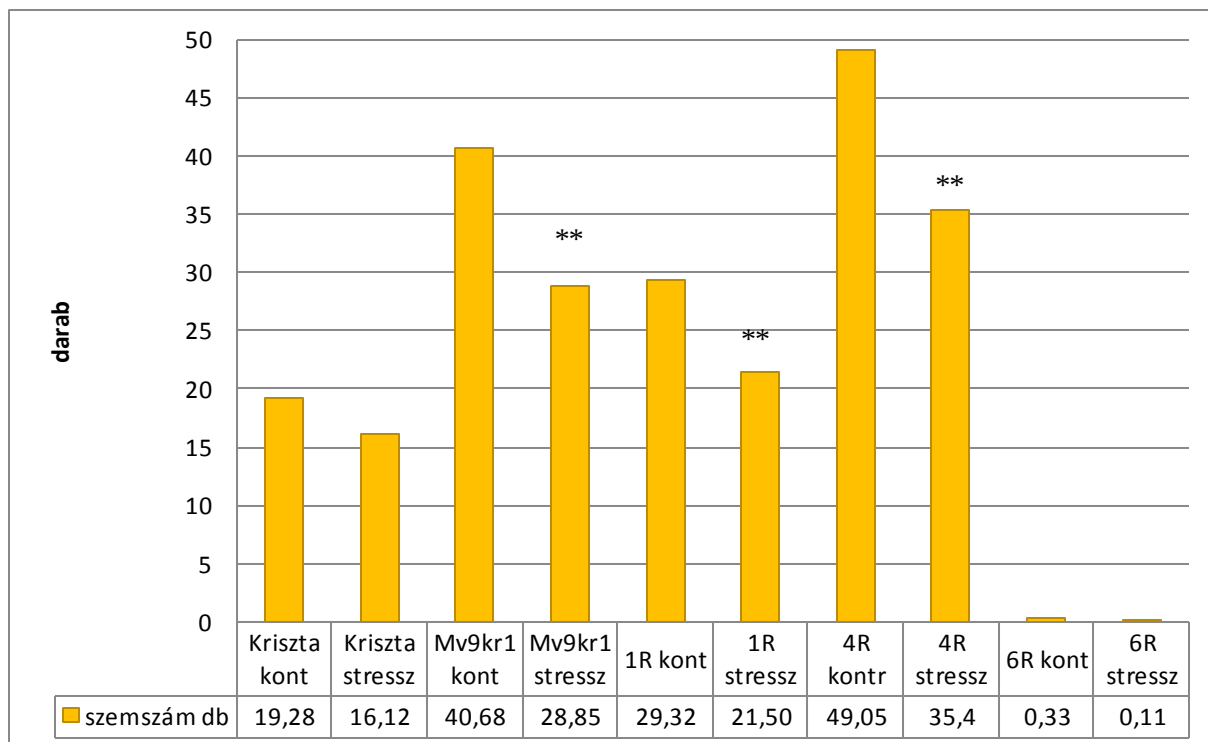
mutatta a legjuvenilebb állapotot június elejéig. A Kriszta rozs – hosszabb tenyészideje következtében - csak június 10-én kezdte meg az öregedést, és nem sárgult be a mérések végéig. A kontroll sárgulása alacsonyabb intenzitású ennél a vonalnál is. A Kriszta rozs kivételével növények kontrollkezelt egyedei körülbelül két héttel később száradtak el teljesen, mint a vízhiányosak.

3.2.5 Szemtermés

Átlagos szemszám

A vizsgált genotípusok átlagos szemszámának alakulását a 9. ábra mutatja. A vízmegvonás mindegyik genotípusnál csökkentette a szemszámot, átlagosan 25 %-kal. A Kriszta szülőpartner szemhozama csekély volt, viszont viszonylag stabilnak mondható, hiszen a stresszelt növények a kontroll növények produkciójának 83 %-át adták. A rozs szemszám csökkentő hatása a 4R addíciós vonalnál nem érvényesült, 20-22 %-kal is meghaladta a búza szülőt, mind kontroll mind stressz kezelésben. Az 1R addíciós vonal átlagos szemszáma 25-28 %-kal volt kevesebb a búza szülőénél. Az 1R kontroll és az Mv9kr1 búza stresszelt növényeinek szemszáma azonos volt. A vízhiány hatására mind a búza szülő, mind a 4R és 1R addíciós vonalak szemszáma jelentősen csökkent, és a stresszelt növények 71-74 %-os szemhozamot produkáltak a kontroll növényekhez képest.

A 6R kromoszóma negatív hatása itt is világosan látszik. A 6R addíciós vonal kalászainak nagy része steril maradt, mind a kontroll, mind a stressz kezelésben, ezért a rendkívül alacsony szemszám következtében nem vonhatóak le következtetések a szemszám, ezerszemtömeg, és termés tekintetében, valamint a stresszelt és a kontroll kezelések között.

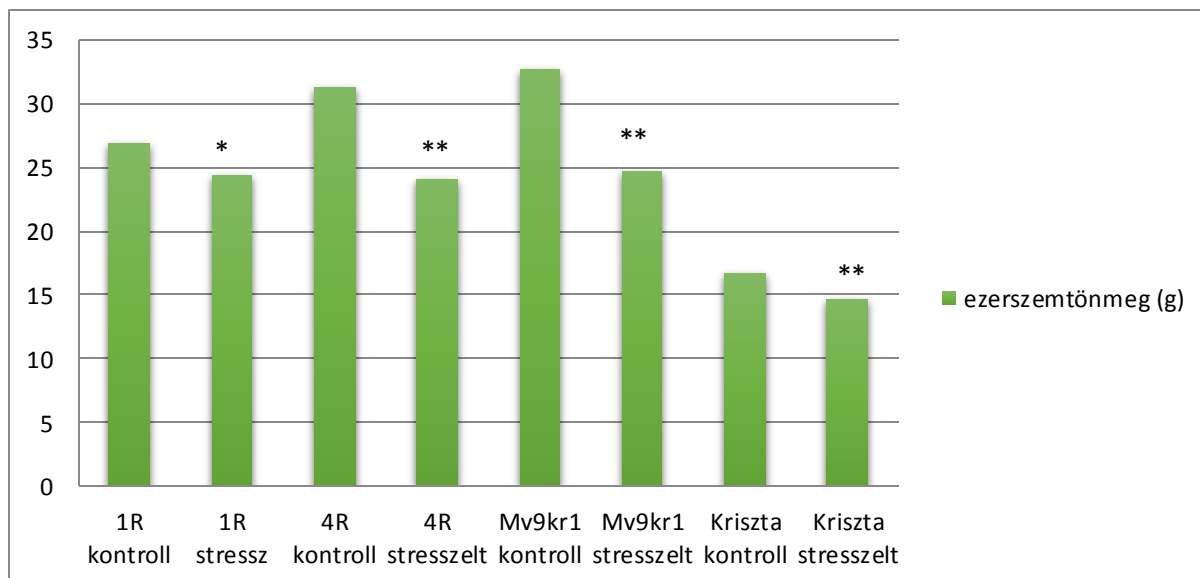


9. ábra: Egy kalászra jutó átlagos szemszám genotípusonként és kezelésenként

** szignifikáns különbség a kezelések között $p = 0,01$ valószínűségi szinten

Ezerszemtömeg

A rozs ezerszemtömege közismerten kisebb, mint a búzáé. Különösen igaz ez a Kriszta évelő rozsról, amelynek 12-15 g az ezerszemtömege. Így szemtömeg csökkentő hatás volt várható az addíciókban, amely meg is mutatkozott az 1R vonalban (10. ábra). A stressz kezelés hatására egyöntetűen szignifikánsan csökkent a szemek tömege és mérete is. A vízhiány hatására a Kriszta rozs ezerszemtömege 12 %-kal, míg az Mv9kr1 búza 21 %-kal csökkent. Az addíciós vonalak közül a 4R-kromoszómát tartalmazó növények ezerszemtömege a búza szülőével azonos volt a kontroll kezelésben. Az Mv9kr1 búza, az 1R és a 4R stressz kezelt növényeinek ezerszemtömege közel megegyezett, így arányaiban az addíciós vonalak közül a legnagyobb csökkenést is a 4R vonal produkálta. Az 1R ezerszemtömege csupán 9 %-kal csökkent a stressz hatására, jobban reagált a 4R-hez képest. Stabilabbnak számít ebben a jellegben. A búza mindkét kezelésben jobban teljesített, mint a többi megfigyelt vonal, de stabilitásban csak a nem bizonyult jobbnak.



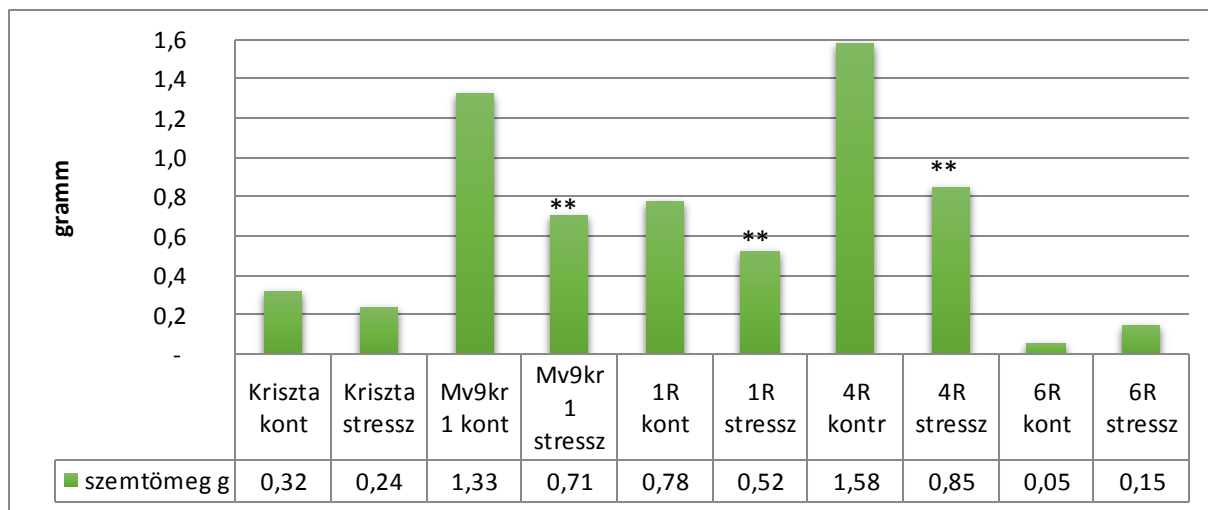
10. ábra: Ezermagtömeg (EMT) genotípusonként és kezelésenként

*,** szignifikáns különbség a kezelések között $p=0,05$ és $0,01$ valószínűségi szinteken.

Szemtermés elemzése

A szemtermés igen fontos paraméter, hisz a mezőgazdaságban ennek a minél nagyobb mennyisége az elsőszámú cél.

Az egy kalászra jutó átlagos szemtömeg a 11. ábrán látható. A búza-rozs addíciós vonalak és a szülőpartnerek termése átlagosan 37 %-kal csökkent. A vízhiány hatására az Mv9kr1 búzaszülő termése 44 %-kal, míg a Kriszta rozs termése 27 %-kal csökkent. Az Mv9kr1 búza, az 1R és a 4R addíció közül az 1R termése csökkent a legkisebb mértékben (32 %). Azonban az 1R addíciós vonalnál tapasztalat kevesebb szemszám és alacsonyabb ezerszemtömeg következtében a szemtermés is alacsony volt. A nagyarányú termésesökkenét mutató 4R addíció termése volt a legmagasabb mindkét kezelésben, még a búza szülő termését is felülmúlta.



11. ábra: Egy kalászra jutó átlagos szemtömeg genotípusonként és kezelésként

**** szignifikáns különbség a kezelések között $p = 0,01$ valószínűségi szinten.**

4 Következtetések, javaslatok

Az éghajlati szélsőségek gyakoribb megjelenése miatt szükség van a kedvezőtlen környezeti hatásokat toleráló, ugyanakkor kedvezőbb körülmények közt is gazdaságosan termeszthető, tehát jó termőképességű fajtákra.

Az egy tenyészidőszakban elvégzett vizsgálatok alapján információt kaptunk arról, hogy melyek azok az addíciós vonalak, amelyek agronómiai szempontból ígéretes eredményeket adtak. Ezek további vizsgálata – tenyészedenyes és szántóföldi körülmények között – indokolt. Ezen ígéretes vonalakból megfelelő nemesítői munkával jó alkalmazkodó képességű új fajták állíthatóak elő.

Egyes búzarozs keresztezésekből származó addíciós vonalak ígéretes nemesítési alapanyagnak bizonyultak. A vizsgált vonalak közül a 4R kromoszómát hordozók voltak a legbiztosabbak. Sok agronómiai szempontban felülmúlták az Mv9kr1 értékeit. A Kriszta várható javító hatása megmutatkozott az 1R addíciós vonalanál is, de kisebb mértékben. A 6R kromoszóma azonban minden vizsgált szempont alapján kedvezőtlen hatást gyakorolt a búza szülőre.

5 Összefoglalás

A búza a mérsékelt égöv legfontosabb kultúrnövénye. Termése népelelmezési szempontból kimagasló jelentőséggel bír, hiszen Európában elsődleges kenyérgabona, ezen kívül állat takarmányozási célra is alkalmas. Hazánkban 1.000.000 ha fölött van a vetésterülete és 4-5 millió tonnát takarítanak be évente, évjáráttól függően. Ennek negyede általában exportálásra kerül, tehát nemzetgazdasági szempontból is kiemelt jelentőségű növényfajról van szó. Magyarország földrajzi fekvése megfelel a búza termesztésnek, bár az egyre melegebb klíma és a nagy aszályok, időjárási szélsőségek kételyeket ébresztenek a gazdák szívében.

A globális klímaváltozás egy elkerülhetetlen folyamat, amit nemzetközi összefogással is csak lassítani tudnánk. A termőterületek csökkennek, míg az emberi populáció exponenciálisan növekszik. Az emberiségnek megoldást kell találnia sok problémára, de valamennyi közül ez igen sürgetőnek tűnik. A nemesítők nehezen tudnak lépést tartani a megnövekedett táplálékszükséglettel és a termőterületek egyidejű csökkenésével és marginalizálódásával

A stresszhatások közül az abiotikus stresszek felelősek a termés kiesés nagyobb részéért. A biotikus stresszorok is lényegesek, de csak kisebb mértékben befolyásolják a hozamkiesést. Hazánk nagy részén nincs kiépítve öntözőrendszer, és ahol van, használata igen költséges. A leghatékonyabb megoldás a szárazságtűrő fajták nemesítése, melyek adaptálódtak hazánk klimatikus viszonyaihoz.

Az MTA Agrártudomány Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetében Martonvásáron, dr. Lángné dr. Molnár Márta osztályvezető irányításával búza-rozs diszómás addíciós fajhibrideket hoztak létre, célja, hogy a rozs kedvező agronómiai tulajdonságait átemeljék a búzába, elsődlegesen a szárazságtoleranciát hivatottak erősíteni ezek a keresztezések. A szárazságtűrő képesség a gyökérzet erőteljesebb fejlődésével. A gyökér tulajdonságok jelentős szerepet játszanak a szárazságtűrésben, hiszen ha mélyebb rétegekbe, vagy nagyobb távolságokba eljut a gyökérzet, akkor több nedvességet és tápanyagot tud felvenni a növény, és így több- és jobb minőségű termést tud produkálni.

Kevés kutatás foglalkozik a gyökernövekedéssel. Ez annak tudható be, hogy nagyon munkaigényes, továbbá a gyökereket nehéz veszteség nélkül a talajból kinyerni. A Kaliforniai Egyetemen kifejlesztett, először EHDAIE-által 2012-ben publikált módszert alkalmaztuk a

vizsgálatokhoz. Természetesen számos, agronómiai szempontból fontos tulajdonság megfigyelése is elvégeztük a vegetáció alatt. Alapvetően minden ilyenfajta kísérlet lényege a szemtermés mennyiségének és minőségének vizsgálata. Ha a gyökérzet több vizet és tápanyagot képes felvenni, nagyobb esélyei lesznek a szemtermés kiválóbb produkálására. Felvételezésre került a klorofill tartalom alakulása, a levél öregedés üteme, az egy kalászra jutó szemszám, és az ezerszemtömeg is és a növényenként a szemtermés, mint a gabonák legfontosabb tulajdonsága .

6 Köszönetnyilvánítás

Ezekben a sorokban szeretnék köszönetet mondni konzulensemnek Dr. Hoffmann Borbála tanszékvezető egyetemi docensnek, aki ösztönzött a munkámban, mindig talált időt, hogy foglalkozzon velem, rengeteg szakirodalmat ajánlott és bocsájtott a rendezésemre. Amikor megakadtam a munkámban segített megtenni a következő lépéseket, hogy folytatni tudjam utamat.

Köszönettel tartozom Aranyi Nikolett Rékának, akivel együtt végeztük a kísérletet, nem tekintett tehernek, hanem mindig új információkat igyekezett átadni nekem. Mindig nagy precizitással dolgozott és ha probléma adódott mindig talált rá megoldást.

Köszönet illeti a Növénytudomány és Biotechnológiai tanszék számos dolgozóját, akik nélkül csak nehézségek árán sikerült volna a megfigyeléseket végrehajtanom.

7 Felhasznált irodalom

A fontosabb gabonafélék termesztése és felhasználása (2011–):
http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn001a.html

BACON, M.A.(2004): Introduction In: Water use efficiency in plant biology Oxford Blackwell Publishing Ltd 113p

BARNABÁS B., FEHÉR A. (2006): Az embriófejlődés és a szemfeltöltődés molekuláris folyamatai a vízhiányban. In: A búza nemesítésének tudománya: A funkcionális genomikától a vetőmagig. (Szerk: Dudits Dénes) Winter Fair Kft., Szeged, 2006. 180-188. P

BOROS J (1994): Rozs In: Szántóföldi növénytermesztés (Szerk Radics L.) Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kertészeti Kar Budapest 53–55 p.

CATTIVELLI, L., BALDI, P., CROSATI, C., DI FONZO, N., FACCIOLI, P., GROSSI, M., MASTRANGELO, A. M., PECCHIONI, N., STANCA, M. (2002): Chromosome regions and stress-related sequences involved in resistance to abiotic stress in *Triticeae*. Plant Mol Biol, 48: 649-665. p.

CSAJBÓK J.(2011): Szántóföldi növények termesztése és növényvédelme. Jegyzet. Debreceni Egyetem. Debrecen. 39-46 p.

EHDAIE, B., LAYNE, A. P. WAINES, J. G. (2012): Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. Euphytica. 188: 1, 219-232 p.

ÉVA CSABA: (2014) Bevezetés. In: Stressz-élettani vizsgálatok aldo-keto reduktáz génekkel transzformált transzgenikus árpa vonalakon ELTE Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszék Budapest 2. p.

FARKAS, B., FÜLE, L., KOTVICS, G., HESZKY L. (2005): Új takarmánynövényünk, a Perenne évelő rozs. Gyakorlati Agrofórum, 16: 34-36 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations
Department of Statistics: <http://faostat3.fao.org/>

IPCC 2007-es negyedik értékelő jelentése: <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/hungarian/ar4-spm.pdf>

IZSÁKY Z.(2004): Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

KISS, A. (1968): Triticale, a homok új gabonája. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 179 p.

KRUPPA J (2001): Rozs és triticale nemesítés és tájtermesztés eredményei. PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Növénytermesztési és Tájökológiai Tanszék, Debrecen.

KRUPPA J.: (2003): Őszi rozs, évelő rozs. In: Növénytermesztés határok nélkül (*Szerk.: Dr. Radics László*) Szaktudás Kiadó Ház. Budapest, 2003. 36-51. P

KRUPPA J (2007): Búza (*Triticum aestivum* L.), Rozs (*Secale cereale* L.) In: Növénytermesztés (*Szerk: Hidvégi Sz.*) DE AMTC AVK Debrecen 2007. 40–50, 57–59 p.

KHAN, N., NAQVI, F.N. (2011): Effect of Water Stress in Bread Wheat Hexaploids. Curr. Res. Biol. Sci. 3 (5): 487-498 p.

KOCSY és mtsai (2009) AZ alacsony hőmérséklet hatására bekövetkező redox és génexpressziós változások gabonafélékben In: A martonvásári agrárkutatások hatodik évtizede (*Szerk.: Veisz Ottó*) A Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézete Martonvásár 25–30 p.

Koltay Á, Balla L (1982): A magyar búzanemesítés története In: Búza-termesztés és –nemesítés) Mezőgazdasági Kiadó Budapest 197–203. p.

LANCE GIBSON and GARREN BENSON, (2002): History, and Uses of Oat (*Avena sativa*) and Wheat (*Triticum aestivum*) In: Iowa State University, Department of Agronomy Revised January Origin,

LÁNG L.: (2004) A búza és más gabonafélék vetőmagtermesztése. In: A vetőmag születése . (Szerk. Bedő Zoltán) Agroinform kiadó 307-327 p.

LÁNGNÉ MOLNÁR M. (2006): Szemelvények a búza genetikájából. In: A búza nemesítésének tudománya: A funkcionális genomikától a vetőmagig. (Szerk: Dudits Dénes) Winter Fair Kft., Szeged, 2006. 33-44. p.

LÁNGNÉ MOLNÁR MÁRTA (2011): Faj-és nemzetségkeresztezések története a gabonafélék között. In: Növénygenetika (szerk: Hoffmann Borbála). TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0010 projekt keretében készült tananyag-fejlesztés. p: 33-36.

LÁNG L., BEDŐ Z. (1997): Mit várhatunk a búzafajtáktól. Gyakorlati Agrofórum. 10: 29-31 p.

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

HOFFMANN B., CSEUZ L., PAUK J. (2006): Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. In: A búza nemesítésének tudománya: A funkcionális genomikától a vetőmagig. (Szerk.: Dudits Dénes) Winter Fair Kft., Szeged, 2006. 191–224 p.

HUFNAGEL L., SIPKAY CS. (2010): A klímaváltozás jelensége, felkészülés és alkalmazkodás, klímapolitika In: A klímaváltozás hatásai ökológiai folyamatokra és közösségekre Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest 11–24 p.

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/main_tables

M.A. SEMEROV , P. STRATONOVICH , F. ALGHABARI, M.J. GOODING Science Direct, Journal of Cereal Science (2014).: Adapting wheat in Europe for climate change

Országos Meteorológiai Szolgálat: www.omsz.hu

PASSIOURA, J.B. (1988): Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soils. Aust J Plant Physiol, 15: 687-693 p.

POLGÁR ZS., HOFFMANN S. HOFFMANN B. Az éghajlatváltozással összefüggő növénynemesítési programok In: Ágazati kutatás-fejlesztési koncepció kialakítása 1-9 p.

RAGASITS I. (1994): Gabonafélék. In: Növénytermesztés (Iványi K., Kismányoky T., Ragasits I.). Mezőgazda Kiadó. Budapest. 97-126 p

SÁRVÁRI É., GÁSPÁR L, MOLNÁR I, KIRÁLY I, CTÖVEK P, NYITRAI P, TERSTYÁNKY A, HOFFMANN B, GALIBA G. (2006). A fotoszintetikus funkciók kedvezőtlen vízellátáskor. In: A búza nemesítésének tudománya. Szerk. Dudits Dénes, MTA Szegedi Biológiai Központ – Winter Fair, 2006 132-136. p.

SMUCKER, A.J.M., NUNES-BARRIOS, A., RITCHIE, J.T. (1991): Root dynamics in drying soil environment. Belowground Ecol., 1: 1-5 p.

SUTKA J. (2004): Növényi citogenetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 111-172. p.

SZABÓ L. GY. (1987): A búza alaktana és fejlődése. In: A búza termesztés kézikönyve. (Szerk: Barabás Z.) Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 47–48 p.

O'MARA, J.G. (1940): Cytogenetic studies on *Triticeae*. I. A method for determining the effect of individual *Secale* chromosomes on *Triticum*. Genetics, 25: 401-408 p.

YANG, J., ZHANG, J., WANG, Z., ZHU, Q., LIU, L. (2001): Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*. 93:196-206

WILSON, A.S. (1876): Wheat and rye hybrids. *Trans and Proc. Bot. Soc. Edinburgh*, 12: 286-288 p.