

SZENT ISTVÁN EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR
GENETIKAI ÉS BIOTECHNOLÓGIA INTÉZET

A 'PLAINSMAN V./CAPPELLE DESPREZ' DH SZÁRAZSÁGTŰRÉSI TÉRKÉPEZÉSI
POPULÁCIÓ FENOTÍPIZÁLÁSI EREDMÉNYEI

Készítette: Nagy Éva
Mezőgazdasági biotechnológus msc 2. évfolyam

Belső konzulens: Dr. Kiss Erzsébet
Egyetemi tanár, intézetigazgató, Genetika és Biotechnológia Intézet

Külső konzulens: Dr. Pauk János
Kutatási igazgató helyettes, Gabonakutató Non-profit Közhasznú Kft.

Gödöllő
2013

TARTALOMJEGYZÉK

1.BEVEZETÉS	3
2.IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1.A VÍZ JELENTŐSÉGE A NÖVÉNYEK ÉLETÉBEN	4
2.2.SZÁRAZSÁG ÉLETTANA ÉS HATÁSA	5
2.3.SZÁRAZSÁG STRESSZ MODELLEZÉSÉRE HASZNÁLT KÍSÉRLETI MEGKÖZELÍTÉSEK, TESZTELESI MÓDSZEREK.....	8
2.4.ŐSZI BÚZA SZÁRAZSÁGTŰRÉSRE TÖRTÉNŐ NEMESÍTÉSE	10
2.5.GENETIKAI TÉRKÉPEZÉS	11
2.6.TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ MÉRETE	13
2.7.FENOTIPIZÁLÁS BÚZÁBAN	13
3.ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	16
3.1.A TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ LÉTREHOZÁSA, <i>IN VITRO</i> TECHNIKA	16
3.2.A TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ VIZSGÁLATA ÉS A MÉRET SZŰKÍTÉS KÖRÜLMÉNYEI	17
3.3.A FENOTIPIZÁLÁSI KÍSÉRLET KÖRÜLMÉNYEI.....	18
3.4.LEVÁGOTT LEVELEK VÍZTARTÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA	18
3.5.STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS	19
4.EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK.....	20
4.1.A DH TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ MÉRETÉNEK VIZSGÁLATA ÉS A POPULÁCIÓ SZŰKÍTÉSE.....	20
4.2.SZÁRAZSÁG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA ÜVEGHÁZBAN OPTIMÁLIS ÖNTÖZÉS ÉS FOLYAMATOS VÍZMEGVONÁS MELLETT A SZŰKÍTETT TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓBAN	23
4.3.LEVÁGOTT LEVELEK VÍZTARTÓ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A SZŰKÍTETT SZÁRAZSÁGTŰRÉSI DH POPULÁCIÓBAN	28
5. KÖVETKEZTETÉSEK (MEGVITATÁS)	30
5.1.A 'PLAINSMAN V.'/CAPELLE DESPREZ' SZÁRAZSÁGTŰRÉSI DH POPULÁCIÓ MÉRETE ÉS A SZŰKÍTÉSI KÍSÉRLETEK	30
5.2. AZ ÜVEGHÁZI SZÁRAZSÁG MODELLKÍSÉRLET FENOTÍPUS ADATAINAK MEGVITATÁSA	31
5.3. A LEVÁGOTT LEVELEK VÍZVESZTŐ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA.....	32
5.4. A SZÁRAZSÁGTŰRÉSI FENOTIPIZÁLÁSI KÍSÉRLETEK EDDIGI EREDMÉNYEINEK GYAKORLATI ÖSSZEFOGLALÁSA	32
6.ÖSSZEFOGLALÁS	35
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	36
8.IRODALOM	37
9.MELLÉKLET	44
10. NYILATKOZAT	50

1. BEVEZETÉS

Az abiotikus stressz faktorok a világ növénytermelésének egyik legfontosabb korlátozó tényezői. A szárazság, valamint a vízhiány a legmeghatározóbb környezeti stressz, mely a Föld területének egy részén lehetetlenné teszi a mezőgazdasági művelést (pl. sivatagok), illetve a művelt területeken óriási termésingadozást okoz.

Magyarország nem tartozik a szélsőségesen száraz területek közé, de a csapadék mennyisége évről-évre jelentősen eltérhet. A csapadék mennyiségen kívül annak eloszlása is egyenlőtlenséget mutat. A gabonafélék fő vegetációs időszakában nyár elején gyakran tapasztalható csapadékhiány, illetve magas hőmérséklettel párosulva aszály.

A fenti változásokból az következik, hogy a szárazság stresszel szemben ellenálló növények jelentősége egyre nagyobb. A szárazságtűrés hazai viszonyok között is a gabonafélék termésbiztonságának egyik meghatározó eleme.

A szárazságtűrés mennyiségi, azaz kvantitatív jelleg, melynek megnyilvánulását több gén együttesen befolyásolja, ugyanakkor a környezeti tényezők is hatást gyakorolnak a megnyilvánulására. A számos alap és alkalmazott kutatásban elért eredmény ellenére a szárazság stressz élettani és genetikai háttere még nem teljesen ismert. A szárazságtűrést meghatározó gének és funkciójuk megismerése a modern genetika egyik nagyjelentőségű kihívása. Egy genotípus vízhiányra adott válasza sok tényezőtől függ, ezért megbízhatóan toleráns genotípusok kialakítása nagy körültekintést és komplex megközelítést igényel.

Dolgozatom elkészítése során a szegedi Gabonakutató Kft. Biotechnológia osztályán folyó szárazságtűrés genetikai kutatásba kapcsolódtam be. A vizsgálatok elvégzéséhez létrehozott térképezési populáció fenotipizálási munkáinak egy része volt a feladatom. Precíz fenotipizálás elvégzésére azért van szükség, mert a további kutatásokhoz (genotipizálás) nélkülözhetetlenek a fenotípusból nyert eredmények.

Dolgozatom célkitűzései az alábbiak voltak:

1. A 391 genotípusból álló 'Plainsman V.' (♀), 'Capelle Desprez' (♂) szárazságtűrés térképezési populáció méretének csökkentése könnyebben átlátható méretre (100-200 genotípus) fenotípusos eredmények alapján.
2. Fenotipizálás: a szűkített térképezési populáció vizsgálata üvegházi kísérletben. A szárazság stressz hatásának vizsgálata kontrollált körülmények között, különös figyelemmel a toleráns és fogékony genotípusokra.
3. A szűkített térképezési populáción, a gyakran alkalmazott szárazságtűrés teszt, a levágott zászlóslevelek vízvesztés vizsgálatának elvégzése.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A víz jelentősége a növények életében

A növények növekedését és a termésmennyiséget a környezeti tényezők nagymértékben befolyásolják. A környezeti tényezők közül az egyik legfontosabb a víz. Az élet a Földön a vízben alakult ki. A víz a Földön található egyik leggyakoribb anyag, a földi élet alapja (HESZKY 2007). Ennek az oka az, hogy a földi élet hidrofil biokolloidokhoz kötött. Az édesvíz legnagyobb fogyasztója a mezőgazdaság, ebből következik, hogy a vízhiány korlátozza legnagyobb mértékben a növénytermelést (BACON 2004).

Biológiai jelentősége óriási, a sejt és testnedvek legnagyobb részét a víz teszi ki. A víz fontos sajátossága dipólus szerkezete, mely abból adódik, hogy a molekulán belül az elektronegativitás nem szimmetrikus, ennek következtében pozitív és negatív jellegű pólusa is van, mely meghatározza viselkedését elektromos töltésű részecskék környezetében (HARASZTY 1978). A víz neutrális oldószer, ezért a legtöbb növényi tápanyagot képes feloldani anélkül, hogy azok kémiai szerkezete változna. Az ásványi tápanyagok felvétele valamint szállítása is vízhez van kötve. Szállítóközeg a sejtről-sejtre valamint az egyik szervből a másikba történő anyagmozgásnál. A kémiai reakciókban közvetlenül is részt vesz, a szerves molekulák átalakulásakor víz lép be, vagy víz lép ki a molekulából. Ezért a víz létfontosságú a növények életében (HAJÓSNÉ 2007). A növény anyagcsere folyamatai a sejtek citoplazmájának vizes közegében zajlanak. A vízben oldhatatlan anyagok felvételére és szállítására a növény képtelen (PETHŐ 1998). Az élő sejtek legnagyobb részét a víz teszi ki. A növekvő növényi szövetek 80-95% -a víz. A legszárazabbak a növényi magvak, bennük 10-15% víz van. A kloroplasztisz és a mitokondrium víztartalma 50% körül van, a vakuólum víztartalma akár 98% is lehet (ÖRDÖG & LÁNG 2011). Az egész növény hidrosztatikusan összefüggő rendszert alkot, mivel a sejtfalak is át vannak itatva vízzel. A vakuólumban lévő víz tartja fenn a sejt turgorát, ami a lágy szárú növények esetében a szár szilárdságát okozza. Turgorszencia nélkül a növény nem képes növekedni (FRIDVALSZKY & HORTOBÁGYI 2007). A vakuólumban lévő víztartalom változás az oka néhány növényi mozgásnak, többek között a sztóma nyitódásnak és záródásnak. A víz befolyásolja a fehérjék, membránok, nukleinsavak és egyéb molekulák szerkezetét, részt vesz több esszenciális reakcióban. A víz a fotoszintézis kiindulási anyaga. A növény egész élete során a víz felvétele és leadása folyamatos eseménysor (HESZKY 2007). A vizet és a vízben oldott tápanyagokat a talaj szolgáltatja a növénynek. A növényi gyökérszőrők számára a talajban lévő gravitációs víz, talajvíz, de leginkább a kapillaris víz felvehető. A felvett vizet a növény eltérő utakon szállítja a föld

feletti szervekhez. A hosszú távú szállítás a szállító szövetrendszerben a tracheákban történik. A vízzel jutnak el a tápanyagok is a sejtekhez. A sejtek citoplazmáján keresztül történő vízmozgás esetén az ozmotikus grádiens a fő hajtóerő (DUDITS 2006). A felvett víznek valójában a növény csak 1-2%-át használja fel és építi be az anyagcsere során a szintetizálódó szerves anyagokba, nagyobb részét 98-99% -át elpárologtatja (HESZKY 2012a). Az intenzív párologtatás során a víz a gyökéren keresztül a hidrosztatikus erő segítségével mozog a gyökér és a xilemnedvek közötti nyomáskülönbség hatására. A víz párologtatás hiányában sejtől sejtbe mozog nagy hidraulikus nyomás mellett (DUDITS 2006). A vízhasznosítás növény fajoként és fajtaként is eltérő mértékű lehet (HESZKY 2012a). A növény minden gramm szárazanyag előállításához a gyökéren át nagyságrendileg 500 g vizet vesz föl, szállít a levelekig és ad le a légkörbe (ÖRDÖG & LÁNG 2011).

A víz leadást a párologtatás jelenti. A víz nagy részének elpárologtatása azért is fontos, mert ez teszi lehetővé a folyamatos vízfelvételt, illetve hűti a növényt. A párologtatás 85-90 %-a a növények gázcsere nyílásain keresztül történik. A párologtatást, tehát a sztómák nyitását, zárását a növény szabályozni tudja, amely rugalmas alkalmazkodást tesz lehetővé a változó vízellátáshoz. Amikor a sztómazáró sejtek turgora alacsony, a sztóma zárva van, a sztóma nyitáshoz a zárósejtek hidrosztatikus nyomásának növekednie kell, ezt a zárósejtek víz és káliumionok felvételével érik el. A nyomásnövekedés hatására a sejttérfogat megnő, így légrés keletkezik a zárósejtek között, ezáltal bekövetkezik a sztóma nyitás. Vízvesztés esetén a sejtek összehúzódnak, ezért megszűnik a légrés, ami a sztóma záródásához vezet (HESZKY 2012a). A vízfelvétel és leadás közötti egyensúly megbomlása súlyos zavarokat okozhat a növényi sejt folyamatokban (ÖRDÖG & LÁNG 2011).

2.2. Szárazság élettana és hatása

A szárazság olyan periódusként definiálható, amely során az átlagosnál kevesebb a csapadék, ezáltal a növények termőképessége természetes és termesztési körülmények között csökken (BOYER 1985). Szűkebb értelemben akkor beszélünk szárazságról, ha a növény transzspirációja meghaladja a vízfelvételt (HESZKY 2012a). A vízhiány lehet abszolút, ekkor a növény-környezet kapcsolatban nincs elegendő víz, valamint relatív, amikor a növény külső vízutánpótlás ellenére sem képes belső vízegyensúlyát megőrizni.

Sok környezeti tényező befolyásolja a növények víztartalmát. A csapadékmentes időszakok eredményezik a szárazságot. Vízhiány kialakulhat a növényben abban az esetben is, amikor elegendő víz áll rendelkezésre, de más környezeti tényező gátolja a vízfelvételt. Nagy só tartalom hatására a növény gyökerei nem képesek vizet fölvenni. A növény nem képes

vízet fölvenni a talajból abban az esetben sem, amikor a gyökerek vízpotenciálja magasabb, mint a körülötte lévő talajé. Akkor, amikor a növény és a talaj vízpotenciál értéke egyenlővé válik, megszűnik a vízfelvétel. Az alacsony hőmérséklet szintén eredményezhet vízhiány stresszt (BRAY ET AL. 2000). Annak ellenére, hogy a sejten belüli vízhiányt számos abiotikus stressz is kiválthatja, legintenzívebb hatás a szárazság stressz folyamán érvényesül.

Kontrollált körülmények között nehezen modellezhető a hatása, mivel időtartama, megjelenésének ideje nagy változékonyságot mutat. Leghatékonyabban szántóföldi körülmények között vizsgálható, mint ezt a mezőgazdasági szakemberek tapasztalják és tudják. A szárazság stressz paraméterei évente eltérőek lehetnek. Ezek a következők: az aszály kezdete és időtartama, a levegő hőmérséklete, páratartalma, mozgása, a napsugárzás erőssége, hőségnapok száma, a csapadék mennyisége és eloszlása, a csapadékhiány mértéke, a talaj állapota, víztartalma, hőmérséklete, a talajvíz magassága. Meghatározó a termesztett növény faj és fajta, a növényállomány kora, fejlődési állapota, a növényállomány sűrűsége, tenézs idő hossza stb. (HESZKY 2008). A szárazságstressz egyes elemei nagyon sokféle formában és kombinációban érik a növényeket. Ebből következik, hogy a szárazságtűrés egy nagyon összetett tulajdonság, melynek kialakításában morfológiai adottságok, biokémiai és molekuláris adaptációs mechanizmusok, sejt és szervezet szintű válaszreakciók egyaránt részt vesznek (PASSIOURA 1996). Ezen folyamatok együttes hatása segíti a növényt a vízhiány túlélésében, vagy elkerülésében.

Hazánk Európában a közepesen aszályos területek közé tartozik, ez azt jelenti, hogy a szárazság nem minden évben jelentkezik. Viszont rendkívül változatos formákban mutatkozik meg. Az országon belül is nagy különbségek vannak. A közepesen aszályos területek mellett aszálymentes, enyhén, mérsékelt, erősen és nagyon erősen aszályos területek is találhatóak (HESZKY 2012b). Mivel Magyarország nem tartozik a szélsőségesen száraz területek közé, ezért hazai körülmények között azt a növényt nevezzük szárazságtűrőnek, amely az aszályos években is viszonylag jó termést ad és vízhiány hatására a termése a lehető legkisebb mértékben csökken (CSEUZ 2009).

A szárazságnak számos fiziológiai hatása van. Általánosságban a vízvesztés megakadályozása az első reakció a vízhiány elkerülésére. A stressz kezdeti szakaszában a szövetek víztartalma és vízpotenciálja a normálishoz közeli. A vízfelvétel és leadás egyensúlyban tartható, mely rövidtávon a sztómák bezárásával, hosszabb távon a megnövekedett hajtás-gyökér aránnyal érhető el. A szárazságtól szenvedő növényekben fokozódik az abszcizinsav szintézis, ami a sztómák bezáródását váltja ki. A sztómazáródás csökkenti a levelek szén-dioxid ellátottságát, ami rontja a fotoszintézis hatékonyságát. E

mellett a vízhiány egyik első és legjellegzetesebb jele a turgor csökkenése, aminek hatására az ozmotikumok koncentrálnak. Az ozmotikus adaptáció segítségével fokozódhat a vízfelvétel. A hosszabb távú védekezési stratégia része a levélfelület csökkentése, aminek következtében kevesebb víz párolog el, ami a szárazság elleni védekezést segíti elő. A levelek leválásával a párolgó felületet csökken. Vízhiányos környezetben a növény túlélése a gyökernövekedés fenntartásának képességétől is függhet (DUDITS 2006). A növények egy része életciklusának megváltoztatásával reagál a vízhiányra. A virágzás, valamint a termésképzés idejét a száraz időszak előtt befejezve jelentősen csökkenthető a tartós vízhiány kedvezőtlen hatása. A vízvesztés megakadályozásában fontos szerepe lehet a különböző morfológiai bélyegeknél. A levelek viaszoltsága, szőrözöttsége és állása valamint a gázcsere nyílások helyzete meghatározó (SZIRA 2010). A kutikula vastagsága, a sztómák száma, a levelek vastagsága olyan anatómiai tulajdonságok, amelyek befolyásolják a növény vízleadását.

A vízhiány kivédésére a növények különböző stratégiákat alkalmaznak. Vízhiány fellépésekor a sejtek igyekeznek visszatartani a működésükhöz szükséges vizet (TOLDI & JENES 2000). A stressz által kiváltott növényi válaszreakciók hatékonysága alapján két csoportot különböztethetünk meg, az egyik a stressz érzékeny a másik a stressz toleráns növények csoportja (TÓTH 2009). A növények stratégiája a szárazság stresszre eltérő lehet (FORGÓNÉ 2009). A vízhiányra történő reakció alapján három csoportot különböztethetünk meg. Ezek a következők: menekülők vagy álrezisztensek, vízvesztést elkerülők, vízvesztést tűrők. (LEVIT 1980). Az első csoport tagjai valójában nem szárazságtűrők, mivel rövid tenyészidejükkel elkerülik a csapadékmentes időszakot. Ezért van az, hogy a szárazterületeken termesztett növények tenyészideje rövid. A vízvesztést elkerülő növények azok, melyek képesek a levegő vagy talaj vízhiánya mellett is fenntartani saját víztartalmukat. A szárazságot úgy vészelik át, hogy tartalékolják, illetve nagyon hatékonyan hasznosítják a felvett vizet. A víz tartalékolását több tényező is befolyásolja, ezek a levélméret és orientáció, a sztómák elhelyezkedése, a levélen lévő viaszréteg és szőrözöttség. A kis felületű, felálló levéllel rendelkező búza genotípusok kevesebbet párologtatnak (HAJÓSNÉ 2007). A vízvesztést tűró növények alkotják a harmadik csoportot. A vízvesztés sejtszinten a sejtmembránok károsodását okozza, ennek mértéke azonban eltérő az egyes genotípusok esetén. A vízvesztést tolerálók általában sejtszinten is szárazságtűrők. Az ozmoregulációjuk révén fenntartják a sejtek ozmotikus nyomását, turgorát, valamint a végsőig képesek a fotoszintézisre. Ezek a növények képesek megőrizni élet- és termőképességüket nagy belső vízhiány esetén is toleránsak.

A szárazságtűrés egy növényfaj fejlődési folyamatain belül is eltérő (HESZKY 2012a, CATTIVELLI ET AL. 2008). Ez abból következik, hogy a növények vízigénye életszakaszonként jelentős eltéréseket mutat. Az életfolyamatok közül a növekedés, valamint a reprodukív szakasz az, amely a legérzékenyebb a vízhiánnyal szemben (BLUM 2009). A búza esetén a három napnál nem idősebb csíranövények kiszáradás tűrők, míg az idősebb növények nem azok (FARRANT ET AL. 2004, NIEDZWIEDZ-SIEGEN ET AL. 2004). A búza a vízellátás elégtelenségével szemben az egyik legérzékenyebb gazdasági növényünk (DUDITS 2006).

2.3. Szárazság stressz modellezésére használt kísérleti megközelítések, tesztelési módszerek

A különböző kutatások célja a vízhiányos környezetben történő termésképzés folyamatának megismerése, valamint a termés mennyiségének növelése (COBB ET AL. 2013). A szárazságtűrés bizonyos részjelenségeinek modellezésére számos általánosan elfogadott módszer létezik, azonban komplex eredményekhez igazán csak szántóföldi kísérleti körülmények között lehet jutni. A korai fejlődési fázisokban megjelenő szárazság (abiotikus stresszhatások) nagyban befolyásolja a termőképességet. Korai fenofázisban fellépő vízhiány hatásai és az okozott károsodás mértékének tanulmányozása kulcsfontosságú. Ebből következik, hogy különböző fejlődési fázisban elvégzett vizsgálatok adhatnak átfogó képet a stressz tűrésről, szárazságtűrésről (SZIRA 2010).

A csíráztatás és az ozmotikumban (polietilén-glikol, mannitol) történő nevelés, élettani és molekuláris vizsgálatokhoz gyakran használt módszer, amely jól ismételhető és egyszerűen kivitelezhető (KOCZY ET AL. 2004). Gyakorlati hasznáról és a szántóföldi körülmények között mért eredményekkel való összevethetőségéről azonban megoszlanak a vélemények (CSEUZ 2009).

Az ozmoreguláció mellett a növények gyökérzetének felülete, elhelyezkedése, valamint a benne található nyomásviszonyok szintén meghatározóak a növény szempontjából. Ennek oka, hogy a megfelelő gyökérzet hozzásegíti a növényt a turgor fenntartásához abban az esetben is, amikor a talaj nedvességtartalma csökken. A gyökérzet méretét nagyban befolyásolják a különböző környezeti tényezők, így a talaj is (MIAN ET AL. 1993).

Az infravörös távhőmérés gyors és pontos eredményeket adhat arra vonatkozóan, hogy a különböző törzsek transzspirációs aktivitásában milyen különbségek lehetnek. A módszer nagy hátránya, hogy elvégzéséhez speciális körülmények szükségesek. Így alkalmazhatóságáról a szelekciós munka során eltérőek a vélemények (CSEUZ 2009).

A gabonanemesítők egyik legfőbb célkitűzése általában a harvest index (HI) fokozása. Ez a szárazságtűrésre történő nemesítésben is kiemelkedő fontosságú. A szárazságstressz akkor csökkenti legnagyobb mértékben a HI-t, ha a virágzást követő fenofázisban következik be. Ebben az esetben a HI csak a tartalék tápanyagok rovására növekedhet. A közvetlen szelekció erre a paraméterre nagyon nehéz. A különböző fenofázisban lévő növények tápanyag mobilizációs képességeinek összehasonlítására CSEUZ (2009) szerint a kémiai desszifikáció viszont jól alkalmazható.

A kémiai desszifikáció, a termésképzés szempontjából kiemelkedő fontosságú tápanyag mobilizációs képesség vizsgálatára alkalmas módszer mások szerint is (ROYO & BLANCO 1998). A virágzást követően a kémiai szerek alkalmazásával történő desszikkálás a fotoszintetizáló szövetek károsodását, illetve a levelek leszáradását okozza (BLUM ET AL. 1991). Ezzel a módszerrel a virágzáskor bekövetkező vízhiányos állapotot lehet modellezni, amikor a szemtelítődés elsősorban a szárban raktározott mobilizálható tápanyagok felhasználásával mehet végbe. A növényekben kialakult vízhiány két fontos paraméterrel jellemezhető. Ezek a következők: a növény vagy növényi rész víztartalma, valamint a növényben lévő víz energia állapota (SZIRA 2010). A víztartalmat a teljes víztelítettség víztartalom százalékával, a víz energiaállapotát pedig a vízpotenciállal fejezhetjük ki.

A talajban végzett, cserepes, vízelvonást alkalmazó kísérletek hasonlítanak a legjobban a természetes szárazság stresszhez, azonban nagyszámú, egyedi beállítás nehezen kivitelezhető. Az egyedül nevelt növények másképp viselkednek, mint a tömegben nevelt növények. Ez a kontrollált körülmények között is elvégezhető kísérlet típus ideális feltételeket biztosít a szárazságtűréshez kapcsolódó molekuláris és élettani vizsgálatok elvégzéséhez (COBB ET AL. 2013). Mi magunk is alkalmaztuk, a dolgozatomban leírtak szerint ezt a módszert.

A levágott zászlóslevelek vízvesztő képességének mérése igen gyors és jól alkalmazható módszer. A levágott levelekben a gyors turgorváltozás miatt a sztomák bezáródnak, így a vízvesztést csak a bőrszövet minősége befolyásolja. A tulajdonság kapcsolatban áll a sejttérfogattal, tükrözheti a vízellátás valamint a párologtatás mértékét. A vizsgálatok bármely fenofázisban elvégezhetőek és gyors eredményt szolgáltatnak (CSEUZ 2009). A módszert SCHONFELD ET AL. (1988) és munkatársai dolgozták ki, és építették be a búza nemesítés folyamataiba. Mi is úgy döntöttünk, hogy a fenotipizálási munkánk egyik módszere lesz ez a vizsgálati eljárás.

2.4. Őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítése

Az abiotikus stresszek, többek között a szárazságstressz valódi fenyegetést jelentenek a termésmennyiségre (BHATNAGAR-MATHUR ET AL. 2008). A globális klímaváltozás következtében szerepe egyre jelentősebb lesz (MIR ET AL. 2012). Ezért a növénynemesítés egyik legnagyobb mai kihívása az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia kialakítása. Ez a nemesítés egyik legnehezebb területe, legfőbb problémát az okozza, hogy a stresszek maguk is változatosak, erősségük, megjelenésük időpontja, valamint a hatásuk kiszámíthatatlan. Gyakran előfordul, hogy több stressz is egyszerre fejti ki hatását (pl. hő és szárazság), ennél fogva az élettelen környezeti tényezőkkel szembeni tolerancia igen sok géntől függ (CSEUZ & MATUZ 2012). Amennyiben a szárazságtűrés genotípusos, valamint fenotípusos háttere ismertebbé válik, a nemesítési módszerek gyorsabban fejlődhetnek, nagyobb termésmennyiség kialakítását lehetővé téve (BENNET ET AL. 2012).

Amíg a természetben a szárazságtűrés a túlélés irányába mozog, addig a nemesítés a termésmennyiség növelésére törekszik vízhiányos körülmények között (CATTIVELLI ET AL. 2008). Szárazságtűrő az a növény, amelynek a teljesítményét a vízhiány nem, vagy csak kevésbé befolyásolja. A nemesítési cél nem a szélsőséges vízhiányt is túlélő extenzív genotípus, hanem száraz viszonyok között is gazdaságos hozammal rendelkező fajta létrehozása. Az elmúlt évtizedekben a növényélettani és növény genetikai kutatások egyre átfogóbb képet adnak a szárazságtűrésről, segítve ezzel a növénynemesítőket új módszerek kidolgozásában (CATTIVELLI ET AL. 2008). A gyakorlati nemesítés számára, szükséges egyszerű, szántóföldön is elvégezhető tesztelési módszerek kidolgozása (CSEUZ ET AL. 2002).

A szárazságtűrő, de gazdasági jelentőséggel nem rendelkező növények szárazság stresszre adott válaszainak vizsgálata is nagyon fontos lehet. A megfigyelési adatok alapot adhatnak gazdasági növényeinkben a tolerancia mélyebb megismeréséhez (BHARGAVA & SAWANT 2013).

A szárazság tolerancia őszi búza esetén rendkívül értékes tulajdonság. Az ideális genotípusban a nagyobb termőképesség és a tolerancia a szárazság stresszel szemben egyszerre van jelen. Az e tulajdonságra történő nemesítést nehezíti, hogy sok, a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyeg hatása, termés csökkentő lehet. Ez a kijelentés alapigazság a legtöbb termesztett növényünk esetében is (PANTUWAN ET AL. 2002, OBER ET AL. 2004, RIZZA ET AL. 2004, PIGEON ET AL. 2006). Ezek a következők: koraiság, kis zöld tömeg, gyenge bokrosodó képesség stb. Nemesítési szempontból azonban nagyobb hangsúly van a termést növelő tényezőkön, mint a szélsőséges szárazság túlélést elősegítő

tulajdonságokon. Ennek oka az lehet, hogy utóbbinak a hatása kevésbé kedvezőtlen normál körülmények között (PASSIOURA 1996).

A legtöbb morfológiai bélyeg egyszerű öröklődést követ, így könnyű szelektálni rá. A száraz körülmények között termelhető búza optimális magasságáról a vélemények megoszlanak. Magyarországon, ahol az éves csapadék mennyisége szélsőségesen ingadozik, inkább a vastagszárra, mint a magasságra célszerű szelektálni, a dőlés elkerülése érdekében. A mérsékelt bokrosodás csökkenti a kalászek számát, de gazdaságos vízfelhasználást tesz lehetővé. A gyenge bokrosodás előnyösen befolyásolja a termést, amikor a szárazság stressz korai fenofázisban jelentkezik (ISLAM & SEDGELY 1981). A xilem átmérője a gyökerekben és a szárban nagy fontosságú a vízfelhasználás szempontjából (VENORA & CALCAGNO 1991). A szálkák jelenléte a kalászon segítik a szemtelítődést, mivel a fotoszintézis a nagy ozmoreguláció hatására a kalászban történik legtovább (MORGAN 1984, BLUM 1988). A mélyreható, elágazó gyökér meghatározó tulajdonság a szárazság tolerancia kialakításában (STREDA ET AL. 2012, BLUM ET AL. 2009). A korai kalászolás előnyt jelenthet, de növelheti a fagykár veszélyét (RICHARDS ET AL. 2001).

A szárazság toleráns búza ideális esetben kiterjedt és mélyreható gyökérszettel, magas-középmagas szárral, valamint a körülményekhez igazodó bokrosodási képességgel, viaszolt vagy szőrözött, kis felületű levélzettel, szálkázott kalással rendelkezik. A szárazságstressz típusától függően előny lehet még a tavaszi gyors kezdeti fejlődés, valamint a korai kalászolás és érés (HOFFMANN ET AL. 2006) is. A szárazságtűrésre történő nemesítés egyik legfontosabb megközelítési módja a vízfelhasználás hatékonyságának növelése (CSEUZ 2009).

2.5. Genetikai térképezés

A magasabb rendű növények tulajdonságainak nagy részét ma még számunkra sok esetben ismeretlen gének hatása alakítja ki. Ezeknek a géneknek az izolálása, szekvenálása, funkcionális elemzése nyújt lehetőséget, a tulajdonságot meghatározó gén(ek) megismerésére (KISS 2005). A növénynemesítésben és a genetikában az egyik legfontosabb cél, hogy a termesztés szempontjából fontos tulajdonságokat meghatározó gének kromoszomális lokalizációját, egymáshoz viszonyított sorrendjét és távolságát meghatározzák.

A térképezés során az első tényező, amit figyelembe kell venni, hogy a vizsgálni kívánt tulajdonság monogénes vagy poligénes-e. A monogénes tulajdonságok kialakításáért egy gén felelős, melyek térképezését közel izogén vonalak vizsgálatával végzik. A poligénes tulajdonságok kialakítását több gén együttesen végzi. Ezek a gének nemcsak a tulajdonság

kialakításában vesznek részt, hanem kölcsönhatásban is állnak egymással. Az egyes gének szerepe additív és eltérő mértékben járul hozzá a fenotípus megnyilvánulásához.

A több gén által kialakított, folyamatos eloszlást mutató tulajdonságokat mennyiségi tulajdonságoknak nevezzük. A mennyiségi tulajdonságokra jellemző, hogy több gén által meghatározott, poligénes öröklődésűek és kialakulásukra a környezet hatással van (SZIRA 2010). Poligénes esetben a fenotípus folyamatos átmenetet képez a populáció egyedein belül (KISS 2005). A kialakításukért felelős kromoszómarégiók neve Quantitativ Trait Locus (QTL), aminek a rövidítését használjuk a mindennapi beszédben.

A QTL-eket molekuláris markerek segítségével, térképezési populációk törzseiben vizsgálhatjuk. Térképezés során meghatározható, hogy az azonosított QTL mekkora százalékban járul hozzá az adott tulajdonság kialakításához. Ez alapján megkülönböztethetünk kis-közepes és nagyhatású QTL-eket (SZABÓ-HEVÉR 2013).

Egy adott jelleg kialakításában általában egy vagy néhány nagyhatású QTL és több változó számú kis QTL vesz részt (SZIRA 2010). A kvantitatív poligénes tulajdonságok esetén a fenotípust több gén és a környezet együttes hatása eredményezi. Ezért a fenotípusos variáció csak részleges képet mutat a felelős gének hasadásáról. Ennek következtében a QTL lokuszok térképezése esetén minden QTL-t azonosítani kell a marker térképezési adatok alapján, megfelelő statisztikai módszerek használatával. QTL térképezési adatok három forrásból származhatnak. Ezek a következők: a fenotípus-jelleg, a polimorf genetikai markerek, illetve a térképezési populáció genetikai szerkezete. A fenotípus tükrözi a QTL allélokat, valamint a fenotípust kialakító környezeti hatásokat (KISS 2005).

A szárazságtűrés komplex kvantitatív tulajdonság, amelyet több gén, QTL együttesen határoz meg (MIR ET AL. 2012). A szárazságtűrést befolyásoló QTL-ek általában kis hatásúak, melyek a fenotípusos variancia maximum 25%-áért felelősek (PRICE 2006) és az erős környezeti befolyás miatt gyengén öröklődnek. A kis fenotípusos hatás miatt ezeknek a QTL-eknek a térképezése problémát okozhat, mert az ehhez szükséges nagyszámú rekombináns egyed fenotípusa közötti különbség gyakran nem mérhető (SZIRA 2010).

A genetikai térkép azt teszi lehetővé, hogy egy adott faj teljes genom szekvenciájának ismerete nélkül, a rekombinációs gyakoriság alapján, a gének, QTL-ek vagy szekvenciák pozícióját meghatározhassuk. A genetikai térképet öröklődő tulajdonságok nyomon követésére alkalmas markerek alkotják (SZIRA 2010). A genetikai térképezés elengedhetetlen feltétele a megfelelő térképezési populáció létrehozása.. (GALIBA & TÓTH 2006). A térképezési populáció szerkezete az egyedi QTL-ek hasadási viszonyai mellett a rekombinációs lehetőségeket is meghatározza (KISS 2005).

2.6. Térképezési populáció mérete

A genetikai térkép elkészítésének meghatározó feltétele a megfelelő térképezési populáció létrehozása. Az ideális térképezési populáció előállításakor a szülő genotípusok a vizsgálni kívánt tulajdonság tekintetében eltérőek (GALIBA & TÓTH 2006). A térképezési populációk méretének limitáló tényezője a pontos, precíz fenotipizálás elvégzése (CATTIVELLI ET AL. 2008). A genetikai kutatások során nem feltétlenül szükséges a teljes térképezési populációt fenotipizálni, elegendő csak egy részét, mely reprezentálja a teljes populációt (UANG ET AL. 2013).

ZHANG ET AL. (2011) térképezési munkájuk során 154 őszi búza genotípussal dolgoztak, melyből 137 kínai, 2 olasz, valamint 15 mexikói (CIMMYT) volt. MAPHOSA ET AL. (2013) 368 DH (doubled haploid) őszi búza homozigóta vonalból 192 genotípust használtak fel térképezésre. A populáció szűkítésekor a korai, középkorai genotípusokra szelektáltak.

A térképezési munkáik során LOPES ET AL. (2013) 165 RIL vonalból álló tavaszi búza térképezési populációval dolgoztak. BENNET ET AL. (2012) 368 őszi búza genotípusból álló térképezési populációjukat a genotipizálási munkák elvégzéséhez 255-re szűkítették. TEULAT ET AL. (2001a) árpa térképezési populációja 187 genotípusból illetve a szülő genotípusokból állt, míg egy másik térképezési munkához (TEULAT ET AL. 2001b) a szülő genotípusok mellett 167 genotípust térképeztek. SUZUKY PINTO ET AL. (2010) 167 rekombináns beltenyésztett tavaszi búza genotípussal végzett térképezési munkákat. SALEM ET AL. (2007) tritikálé térképezési populációja 114 rekombináns beltenyésztett tritikálé vonalból állt.

A fentiek alapján elmondható, hogy a leggyakrabban használt populációméret 100-200 genotípus közötti, az említett publikációkban. Saját kísérletünkben mi is azzal kezdtük munkánkat, hogy viszonylag nagy populáció méretünket (négy száz körüli egyedszám) lecsökkentsük.

2.7. Fenotipizálás búzában

A kutatók számos megközelítést alkalmaznak annak érdekében, hogy a szárazságstressz, mint komplex hatás természetét megértsék. A szárazság többdimenziós stressz, amely a növény fejlődési fázisaiban eltérő hatással van (BLUM 1996). A 21. század egyik fontos kihívása a növény nemesítők számára a növény fenotípusos tulajdonságai alapján a genotípus meghatározása (WHITE ET AL. 2012). Ezért a precíz fenotipizálási eredmények elengedhetetlenek a szárazságtűrés genetikai hátterének megismerésére irányuló kutatásban (MIR ET AL. 2008). A pontos fenotípusos eredmények meghatározó szerepet játszanak a gének szerepének megismerésében, valamint a komplex összefüggések értelmezésében a genetikai

háttér, valamint a környezet között (LOPES ET AL. 2013). Célszerű olyan speciális tulajdonságokat kiválasztani, amelyek könnyen mérhetőek (ZHANG ET AL. 2011). Ennek következtében gyors és könnyen felhasználható mérési módszerekre van szükség (BENNETT ET AL. 2012).

A gabonafélék nemesítése során az egyik legfontosabb tulajdonság a termésmennyiség. Nehéz olyan fiziológiai paramétert találni, amely hiteles indikátora a termésmennyiségnek stresszelt körülmények között. Ennek következtében a fenotipizálás során a termésmennyiség az egyik legmeghatározóbb tulajdonság (VOLTAS ET AL. 2005). A legtöbb térképezési kutatásban a fenotipizálási munkák során a termés mennyiséget, valamint az azt meghatározó összetevőket vizsgálják. Üvegházi, valamint szántóföldi körülmények között eltérnek a vizsgált paraméterek. Ennek oka, hogy üvegházban általában egyedi növényeket vizsgálnak, míg szántóföldön parcellákat. Az üvegházi vizsgálatok során a mért tulajdonságok a következők lehetnek: kalászkák száma növényenként, szem szám növényenként, kalászkák száma a kalászban, termés mennyiség növényenként, ezerszemtömeg, száraz biomassa tömeg (BENNETT 2012, TEULAT ET AL. 2001a,b, CHANDRASEKAR ET AL. 2000, OSIPOVA ET AL. 2011, SUZUKY PINTO ET AL. 2010, KAURBEHL 2010, INAGAKI ET AL. 2007). Szántóföldi körülmények között a mért tulajdonságok az összes termés mennyiség, ezerszemtömeg, valamint a harvest index (TEULAT ET AL. 2001 a,b, SALEM ET AL. 2007, MORI ET AL. 2011).

A szárazság stresszre történő nemesítés során kenyér búza esetén fontos fenotípusos tulajdonságok lehetnek a liszt minőség, sikértartalom, összes fehérje mennyiség, szemkeménység (MIR ET AL. 2008, MAPHOSA ET AL. 2013).

RICHARDS ET AL. (2001) szerint két tulajdonság van, amely meghatározó szerepet játszik a termés növelésében száraz körülmények között, ezek a növénymagasság, valamint a kalászolási idő. Növénymagasság megfelelő tulajdonság a szárazság stressz hatásának modellezésére (ZHANG ET AL. 2011). Annak következtében, hogy a növénymagasság a növény fejlődése során könnyen mérhető, megfelelő agronómiai tulajdonságnak bizonyul a szárazság stressz hatásának megfigyelésében. A legtöbb kísérletben a terméséréskor mérhető növénymagassággal dolgoznak. ZHANG ET AL. a növénymagasság mérését különböző fenofázisokban végezték el, az első mérést a növekedés kezdetekor, az utolsót a betakarításkor végezték, közben pedig heti rendszerességgel felvételezték a növénymagasságot cm-ben. Az eredmények kiértékelése után megállapították, hogy a szárazság stressz kezelés hatására a növénymagasság minden fenofázisban alacsonyabb volt a jól öntözött (kontrol) kezeléshez képest. Növénymagasság olyan komplex tulajdonság,

amelyet a kalász hosszúság, valamint az internódiumok hosszúsága határozza meg (LOPES ET AL. 2013). A betakarításkor mért növénymagasság a legtöbb kísérletben mért paraméter (SUZUKY PINTO ET AL. 2010, CHANDRASEKAR ET AL. 2000, TEULAT ET AL. 2001ab, INAGAKI ET AL. 2007).

A növénymagasság mellett a kalászolási idő is meghatározó vizsgált paraméter a fenotipizálási munkák során (LOPES ET AL. 2013). A búza a szárazság stresszre általában korábbi kalászolással reagál, ezért a kalászolási idő megfigyelése a legtöbb kísérletben szerepel (SUZUKY PINTO ET AL. 2010, TEULAT ET AL. 2001ab).

A mélyreható gyökérrendszer fontos tulajdonsága lehet a szárazságtűrésnek. Egyes kutatók a mélyreható, nagy gyökértömeggel rendelkező genotípusokban látják a megoldást a szárazság tolerancia kialakítására. A tulajdonság mérése viszont nehézségekbe ütközik (RICHARDS ET AL. 2001). A gyökér tulajdonságainak meghatározására STREDA ET AL. (2012) valamint INAGAKI ET AL. (2010) száraz gyökértömeg produkciót mértek. MORI ET AL. (2011) a gyökerek vízfelvevő képességét vizsgálták.

A gyökerek, vizsgálata mellett a levelek különböző fiziológiai tulajdonságából is lehet következtetni a szárazságtűrés mértékére. Különböző vizsgálati módszerek léteznek, ilyen a lombfelszín hőmérséklet meghatározása, a levélfelület index, a levelek víztartalmának meghatározása, levelek relatív víztartalmának mérése. MIR ET AL. (2008) munkájuk során a következő paramétereket vizsgálták: levélfelület index, lombfelszín hőmérséklet, valamint a vízhasznosító képességet (WUE) is meghatározták. BENNETT ET AL. (2012) lombfelszín hőmérsékletet vizsgált. SUZUKY PINTO ET AL. (2010) lombfelszín hőmérsékletet, valamint a levelek klorofill tartalmát mérte.

A búza a szárazság stresszre különböző fiziológiai és biokémiai válaszokkal reagál, melyek felvételezése a fenotipizálás során elengedhetetlen a további genotipizálási munkák pontos elvégzéséhez (CHANDRASEKAR ET AL. 2000).

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A térképezési populáció létrehozása, *in vitro* technika

A térképezési populáció létrehozása az amerikai származású 'Plainsman V.' közismerten szárazságtűrő búzafajta, valamint a szárazságra érzékeny francia származású 'Capelle Desprez' fajta keresztezésével történt. Anyaként a 'Plainsman V.' genotípus szerepelt, mivel ez szálkás fajta, míg az apának használt 'Capelle Desprez' tar kalászu. Az F1 növények populációjából a további vizsgálatokhoz csak a hibrid kalászok (tar kalászu F1 növények – a tar jelleg a domináns) kerültek doubled haploid (DH) előállításra. Kutatási munkám során, ennek a munkának a végébe kapcsolódtam bele.

A hasadó „F2 mikrospórákból” (F1 növényeken) a tiszta vonalak (homozigóta) létrehozása portoktenyészet (PAUK ET AL. 2003) alkalmazásával történt. Az F2 növények hajtásai akkor kerültek begyűjtésre, amikor a portokban lévő mikrospórák egysejtmagvas vakuólumos állapotban voltak. A levágott donorhajtásokról a zászlóslevélen kívül minden levelet eltávolítottunk, majd ezt két hét 3-4 °C hőmérsékleten történő hideg kezelés követte (LANTOS ET AL. 2006).

A hideg előkezelést követően a kalászokat 20 percig sterilizáltuk 2% nátrium hipoklorit oldatban 2-3 csepp Tween 20-at hozzáadva, majd steril vízzel leöblítettük. A portokok izolálása steril fülkében történt, az előírt laboratóriumi gyakorlatnak megfelelően. A portokok üveg Petri-csészébe (8 cm átmérő) kerültek, a W14 folyékony táptoldat felszínére (LANTOS 2009).

Ezt hő-stressz követte, 32° C állandó hőmérsékleten, megvilágítás nélkül, 3 napig. Ezután 28°C-ra helyeztük át a tenyészeteket (termosztátban, megvilágítás nélkül), egészen a regenerálásig. A fejlődő embriókat (embrioid) regeneráló táptalajra helyeztük. A zöld növénykének néhány leveles korban üveg csőbe kerültek, ami szintén regeneráló táptalajt tartalmazott. Két-három héttel később a gyökeresedett növények az üvegházba kerültek kiültetésre. A kiültetést követő akklimatizáció ideje alatt polietilén tasakkal védtük a növénykéket minden lépésben követve a korábban publikált protokollokat (LANTOS 2009, PAUK ET AL. 2003). A betakarított szemtermés képezte a teljes térképezési populációt, ami valamivel több, mint négyszáz genotípusból állt, de kísérletekben csak 391 tétellel foglalkoztunk. A szűkítést ebből a populációból indítottuk el. A térképezési populációt a továbbiakban PC- ként jelölve, mely arra utal, hogy az anya a 'Plainsman V', az apa a 'Cappelle Desprez'. A szűkített populációban van olyan genotípus, amelynél az anya a 'Capelle Desprez' az apa a 'Plainsman V', ezek CP –ként vannak feltüntetve.

3.2. A térképezési populáció vizsgálata és a méret szűkítés körülményei

A térképezési populációt (391 db DH genotípus), a Gabonakutató Kft. kecskés-telepi búza tenyészkertjébe vetettük el (1. ábra), parcella vetőgéppel, egysoros parcellákba, ősszel. A növények az egész tenyészidőszak során a standard tenyészkerti agrotechnikát kapták. Az én feladatom a fenotípezáláshoz fontos adatok tenyészkerti felvételezése és értékelése volt.



1. ábra. A 'Plainsman V./Capelle Desprez' térképezési populáció DH anyaga tenyészkertben, kalászos idején. A populáció változatossága a fényképen is jól látható.

Az aratást követően a teljes populációt a szegedi kalászos génbankban helyeztük el, kivéve a mintákból a további vizsgálatokhoz szükséges genetikailag megbízható magmintát. Az aratást (2. ábra) a genetikai tisztaság érdekében kézzel és nagy figyelemmel végeztük.



2. ábra. A térképezési populáció betakarítása kézzel történt, hogy a keveredést elkerüljük.

A felvételezett tulajdonságokat (kalászos idej, növénymagasság stb.) a tenyészkertben, a megfelelő időpontban tenyészkerti füzetbe rögzítettük és az adatokat később számítógépen dolgoztuk fel.

A 'Plainsman V./Capelle Desprez' DH térképezési populáció szűkítését praktikus és genetikai okok miatt végeztük el. A négyszázat megközelítő (391) populáció méretből a

szűkítés során kihagytuk - a megfigyelési és mérési adatok alapján - azokat, amelyek hosszú tenyészidejük, megdőlésük, esetleg inhomogenitásuk miatt zavarták a fenotipizálás jelenlegi és későbbi munkáját

3.3. A fenotipizálási kísérletek körülményei

A térképezési populáció fenotipizálása viszonylag hosszú folyamat, hiszen meg kell azokat a tulajdonságokat találni és a populációt ezekre szűrni, amelyek szárazságtűréssel jó összefüggést mutatnak. Első kísérletünket a szűkített populációval üvegházban állítottuk be.(3.ábra)



3 .ábra. A 'Plainsman V./Capelle Desprez' térképezési populáció üvegházi kísérlete. A cserépsorban, balról ugyanazon DH törzs vízmegvonásos cserepe, míg jobbról az optimálisan öntözött található.

Homogén földkeveréket használtunk a cserepekbe és minden cserepbe ugyan annyi talajt mértünk be. Meghatároztuk a talaj vízkapacitását és ennek 60%-os értékére öntöztük az optimálisan öntözött cserepeket. A vízmegvonásban részesülő kísérletrészen ugyanezzel a módszerrel, a talaj 20%-os vízkapacitásáig öntöztük a cserepeket. A munka technikai részét Vajasdi-Nagy Sándor technikus végezte, én a fenotípus adatok rögzítésében segítettem és a kiértékelést végeztem

A DNS mintát ezekről az üvegházi növényekről izoláltuk a későbbi genotipizálás érdekében. Ha a munkám doktori ösztöndíjon tovább tudnám folytatni, ennek a mintának nagy jelentősége lesz. A minták molekuláris kísérleteit Ausztráliában, szolgáltatás keretében végeztetik el.

3.4. Levágott levelek víztartókéességének vizsgálata

A búza levél víztartása fontos tulajdonság a szárazságtűrésben. Azok a fajták, amelyek gyorsan leadják a vizet, szárazsággal szemben általában érzékenyek. Ennek a tulajdonságnak a vizsgálatával egyfajta képet kaphatunk a genotípusok szárazságtűréséről, a szárazsággal szembeni toleranciáról. A kísérlet során genotípusonként 3-3 sérülésektől és betegségtől

mentes zászlóslevelet gyűjtöttünk be a kora reggeli órákban, a tenyészkerti egysoros parcellákról (csak a szűkített populáció DH törzseiről). A zászlóslevelet a levélalap fölött vágtuk el, igyekeztünk azonos méretű leveleket levágni. A levágott leveleket zárt Petri-csészébe helyeztük, majd a laboratóriumba vittük.

A laborban analitikai mérleggel megmértük a kezdeti tömegüket, ez adta a friss tömeget (FM1=Fresh Mass). Ezt követően a leveleket vízzel teli Petri-csészében 24 órán keresztül tartottuk, majd a nedvesség leitatását követően újra lemértük a tömegeket. Ez az érték volt a nedves tömeg (TM= Turgid Mass). A mérést követően a leveleket 24 órán keresztül a saját nyitott Petri-csészéjükben hagytuk, majd újra lemértük a tömegüket. Ez az érték jelentette a deszikkált levelek tömegét (FM2). A mérést követően a mintákat szárítószekrénybe helyeztük, ahol súlyállandóságig szárítottuk, majd meghatároztuk a száraz tömeget (DM= Dry Mass).

A közvetlenül a mintavételt követően mért tömeg és a száraztömeg segítségével a levelek kezdeti víztartalmát határoztuk meg (RWC1= Relative Water Content) CSEUZ (2009) leírása alapján. A deszikkált levelek tömegéből és a száraz tömegből a deszikkált levelek relatív víztartalmát (RWC2) határoztuk meg. A víztartó képességet (WRA= Water Retention Ability) a friss levelek relatív víztartalmának százalékában fejeztük ki.

$$RWC1=(FM1-DM)/(TM-DM) \times 100$$

$$RWC2=(FM2-DM)/(TM-DM) \times 100$$

$$WRA= RWC2/RWC1 \times 100$$

3.5. A statisztikai értékelés

Az összegyűjtött adatok statisztikai kiértékelését a MICROSOFT® EXCEL 2002 statisztikai szoftver „Analysis tool pack” (Microsoft, Redmond, WA, USA) segítségével végeztük el. Az egyes kísérletek kezelése közötti összefüggést kéttényezős varianciaanalízis segítségével értékeltük ki. Az 5 százalékos hibaszinten számított szignifikáns differenciánál ($SzD_{5\%}$) nagyobb különbséget tekintettük lényeginek (szignifikánsnak). A térképezési populáció eloszlási görbéinek normalitás elemzéséhez, a ’ három szigma ’ szabályt alkalmaztuk (ZÁVOTI 2010). Normál eloszlásúnak azt az adatsort tekintettük, mely a következő kritériumoknak megfelelt, az adatok 68.2%-a az $[m-s, m+s]$ intervallumba, az adatok 80%-a az $[m-1.282*s, m+1.282*s]$ intervallumba, az adatok kb. 90%-a az $[m-1.645*s, m+1.645*s]$ intervallumba, az adatok kb. 95.5%-a az $[m-2*s, m+2*s]$ intervallumba esik. (m = az átlag, s = a szórás)

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A 'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció hasadó F₂ nemzedékéből a genetikailag tiszta vonalak (homozigóta), portoktenyészet felhasználásával születtek. A kísérletünkben vizsgált egyedszám - hozzászámítva a két szülő fajtát is - 391 független törzsből állt. Ez a populáció méret – figyelembe véve a szakirodalmi adatokat - kb. felére csökkenthető. A genetikai térképezés precíz fenotipizálási adatokra épül, ezért a jelentős adatmennyiség miatt a populációszűkítés nemcsak szakmai, hanem praktikus törekvés is. Dolgozatom következő pontjaiban ennek a munkának az eddig elért eredményeit foglalom össze.

4.1. A DH térképezési populáció méretének vizsgálata és a populáció szűkítése

A DH populáció méretének csökkentését a növénymagasság, kalászolási idő, termésmennyiség, ezerszemtömeg adatok alapján végeztük el, úgy hogy a tulajdonságok normál eloszlása, a szűkített populációban ne változzon meg.

A fenotípus eredmények összegzése után az első fontos feladatunk az volt, hogy a populáció méretet lecsökkentsük, könnyen kezelhető és a genetikai kutatáshoz megfelelő populáció méretre. Az irodalmi adatok alapján a térképezési munkához 100-200 közötti populációméret elegendő a fenotipizálási eredmények összegzését követő genotipizáláshoz. Arra törekedtünk, hogy a populációban a szűkítés ne okozzon megoszlásbeli összetételben (normál eloszlás) eltérést.

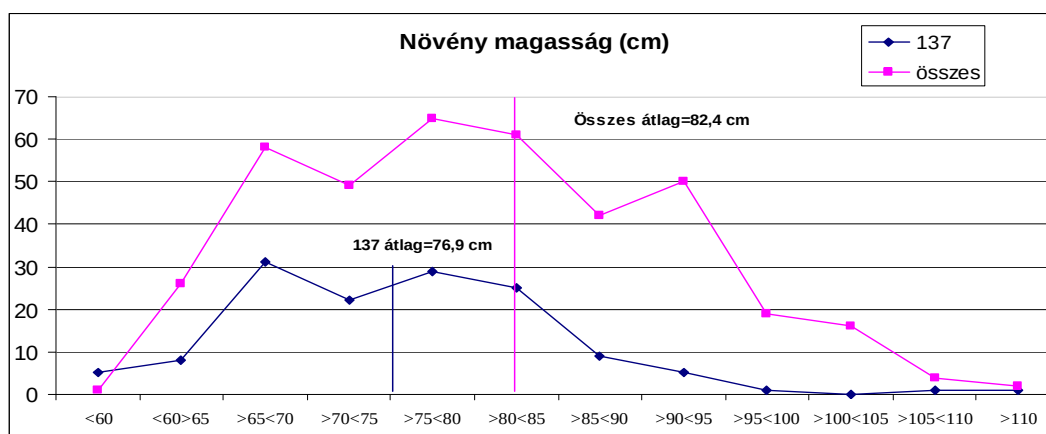


4. ábra. 'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció fenotipizálási kísérlet tenyészkerti részlete éréskor. A kép jobb szélén látható, hogy a túl magas, gyenge szárú genotípus megdőlése, milyen jelentősen befolyásolja a populáció más törzseinek teljesítményét (a szomszéd parcellát is ledönti).

A DH őszi búza térképezési populáció méretének csökkentésekor a növénymagasság meghatározó tulajdonság volt. A növénymagasság egyes vélemények szerint fontos szerepet

tölt be a szárazságtűrésben, lévén a magasabb növényeknek általában a gyökérzetük is nagyobb, mélyebbre hatoló. Ezért a szárazságban történő túlélésük általában jobb. Azonban a magas szárral rendelkező növény hajlamos a dőlésre, ami a megdőlés kapcsán további fenotipizálási munkát nehezíti. A magas, általában gyenge szárral rendelkező fajta a fenotipizálási kísérletben rádől a mellette lévő kísérleti parcellára (4. ábra) és ezzel fals eredményeket okozhat. A bemutatott ábrán ez szemléletesen látszik.

A populációsűkítés célja az volt, hogy az egy méternél magasabb szárú genotípusokat kiszűrjük. Az 5. ábrán látható, hogy ezt az elképzelést sikerült megvalósítani. A teljes populáció a 'teszt elvégzésével normál eloszlást mutat, viszont a szűkített populációról ez nem mondható el. Ez azzal magyarázható, hogy az 1m-nél magasabb genotípusok kizárásával megváltoztattuk az eloszlást is. A szűkített populációban összesen kettő olyan genotípus maradt, amely magasabb egy méternél viszont szárszilárdságuk jó volt. A teljes populáció átlagmagassága 82,4 cm, míg a szűkített populáció átlagmagassága 76,9 cm (5. ábra).



5. ábra. A növénymagasság megoszlási görbéje a teljes (391 független DH törzs lila színnel) és szűkített (137 független DH törzs kék színnel) térképezési populációban. A függőleges vonalak a két populáció átlag értékeit jelölik.

Az átlag adatok is mutatják (az 5. ábrán függőleges vonallal jelölve), hogy a magas genotípusokat sikeresen kiszűrtük úgy, hogy a populációt jellemző megoszlási görbe normalitása is megváltozott, de ebben az egy esetben ezt nem vettük hibának.

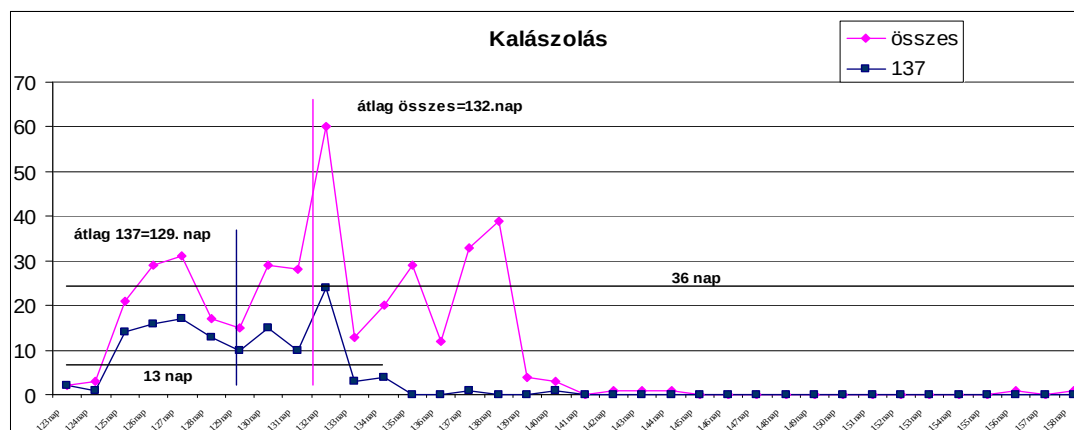
A DH térképezési populáció szűkítése szempontjából a következő fontos tulajdonság a kalászolási idő volt. Egyes szakirodalmak szerint a korai kalászás előny a szárazság tolerancia kialakulásában. A korai növények esetében azonban nagy valószínűséggel menekülésről van szó, mert a termésérésük befejeződik az aszályos időszak beköszöntéig. A kalászolási idő, populációméretének szűkítésénél az volt a cél, hogy a kiválasztott genotípusok lehetőleg minél korábban és egymáshoz képest viszonylag közeli időben kalászoljanak. A 391 genotípus elsőként és utolsóként kalászó növényei között 36 nap telt

el (6. ábra). Ez a növények összehasonlítása szempontjából nem optimális, mert annyira más fenofázisba érik a gonotípusokat az időjárási változások, hogy a teljesítményüket ez alapvetően befolyásolja.



6. ábra. A vizsgált térképezési populáció kalászolás utáni (a) és érés kori (b) képe a tenyészkertben. A baloldali képen (a) különösen jól látható a genotípusok közötti igen jelentős kalászadási eltérés. A zöld parcellák lényegesen későbbiek, mint a sárgulók. Éréskor (b) a különbség már nem ennyire szembetűnő.

A 7. ábrán jól látható, hogy a szűkített populációba tartozó genotípusok között a kalászadási időeltérés lényegesen kisebb. Az adatokból látható 13 nap, azaz harmada a kiindulási populáció kalászadási idő amplitúdójának.

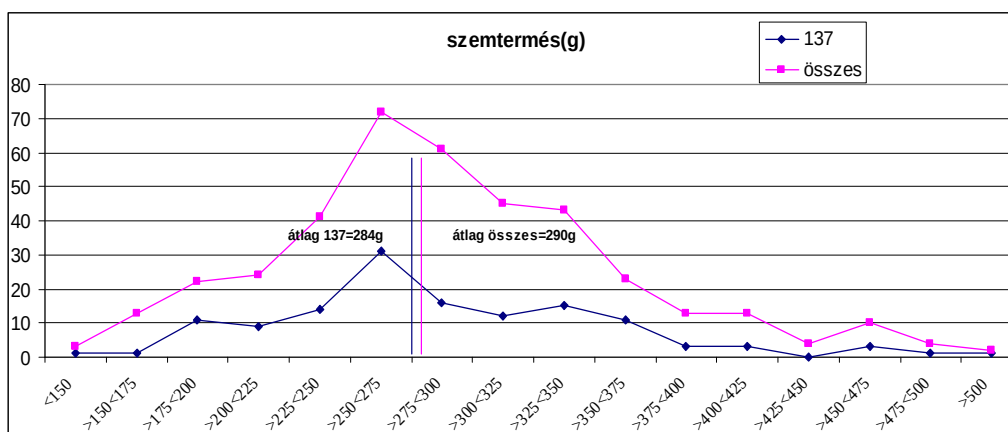


7. ábra. A kalászadási idő megoszlási gyakoriságának grafikonja a teljes (391 független DH törzs lila színnel) és szűkített (137 független DH törzs kék színnel) térképezési populációban. A függőleges vonalak a két populáció átlagértékeit jelölik.

Két genotípus kalászadási ideje tér el ettől, ez betudható annak is, hogy a genotípusok különböző környezeti hatásokra eltérő módon reagálnak. A teljes populáció átlagosan - január 1-től számítva - a 132. napon kalászolt, míg a szűkített 129. napon, a populációátlagok alapján. A mért adatok eloszlását tekintve mind a szűkített mind pedig a teljes populáció esetében normál eloszlás a jellemző a 'három szigma' szabály alkalmazása mellett.

Minden agronómiai jellemző közül, a legfontosabb a szemtermés, hiszen a búza esetében is a termőképesség különösen fontos mutató. A törzsenkénti szemtermés vizsgálata során a célunk nem a szélső értékek kizárása volt, hanem éppen ennek ellentéte. Nevezetesen,

hogy ne zárjuk ki sem a szélsőségesen keveset termő, sem pedig a bőtermő genotípusokat. A 8. ábra alapján elmondható, hogy célunkat sikerült tartani, mivel a 391-, illetve a 137 genotípusból álló populáció szemtermés eloszlási görbéje teljesen hasonló egymáshoz, a normalitás vizsgálat elvégzése után,- a 'három szigma' szabályt alkalmazva- mindkettőről elmondható, hogy normál eloszlású (8. ábra). A szélső értékeket (alacsony és magas egyedi szemtermés) sikerült megtartani a szűkített populációban is. Az egyes genotípusok közötti eltérés meglehetősen nagy. A legkevesebb szemtermést adó genotípus 150 g alatt termett, a legtöbbet termő pedig 500 g-ot adott. A különbség több mint háromszoros (8. ábra). Az átlagos szemtermés a teljes populációt nézve 290 g volt, a szűkítettre nézve pedig 284 g volt. A szűkített és a teljes populáció ezerszemtömegének átlag adata pedig teljesen megegyezik, mindkét populációban 39 g volt (részletes adat itt nincs közölve).



8. ábra. A genotípusonkénti (DH törzsek) szemtermés alakulása a teljes (391 független DH törzs lila színnel) és szűkített (137 független DH törzs kék színnel) térképezési populációban. A függőleges vonalak a populációk átlagait jelölik

Eddigiekben objektív adatok alapján bemutattuk, hogyan szűkítettük le a 391 DH törzsből álló szárazságtűrési DH populációt 137 törzsből álló kisebb populációra, úgy hogy az egyes tulajdonságok esetében a gyakorisági értékek grafikus lefutása ne változzon meg szignifikánsan.

A következő pontban az üvegházban beállított szárazságtűrési kísérlet fenotípus adatait mutatom be.

4.2. Szárazság hatásának vizsgálata üvegházban optimális öntözés és folyamatos vízmegvonás mellett a szűkített térképezési populációban

A szárazság hatásának vizsgálatát műanyag cserepekben, üvegházban állítottuk be. A kísérlet első részét optimális víznorma (kísérleti kontroll) mellett-, míg a kísérlet második részét folyamatos vízmegvonás (szárazság stressz) mellett neveltük. Az alábbiakban, három fontos tulajdonság (növénymagasság, földfeletti száraztömeg, egyedi szemtermés) szárazság

hatására mutatott változásának eredményeit mutatom be, a jól mérhető tulajdonságokban történő csökkenést (depressziót) elemzem.

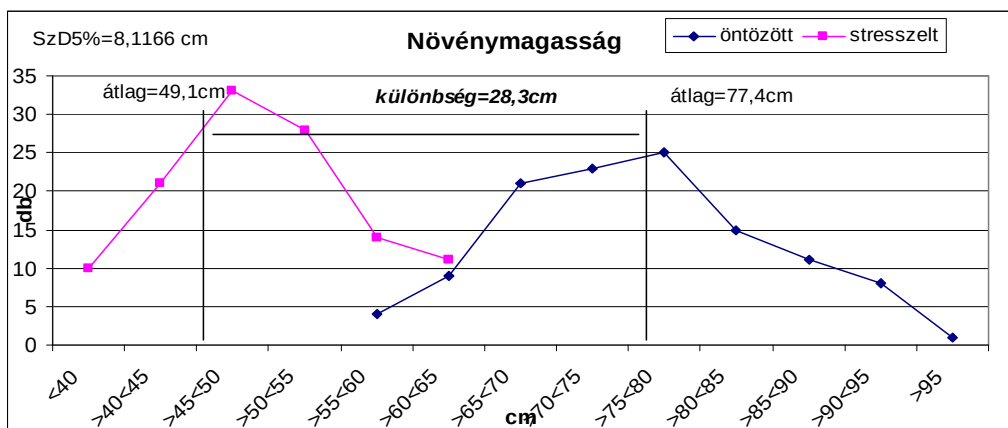
A növénymagasságot a talajszinttől, a kalász csúcsáig cm-ben mértük. Az optimálisan öntözött növények magasságát (kontroll) összevetettük a folyamatos vízmegvonás alatt nevelt növények magasságával (stressz hatás). Az optimálisan öntözött és a folyamatos vízmegvonásnak kitett növények magasságában jelentős különbségek mutatkoztak meg (9. ábra).



9. ábra. Az optimális öntözés és a folyamatos vízmegvonás hatása a növénymagasságra, ugyanazon genotípusnál, üvegházi kísérletben. A magasabb növényt (bal oldalon) optimális öntözési körülmények között, míg az alacsonyabb növényt (jobb oldalon) folyamatos vízmegvonás mellett neveltük.

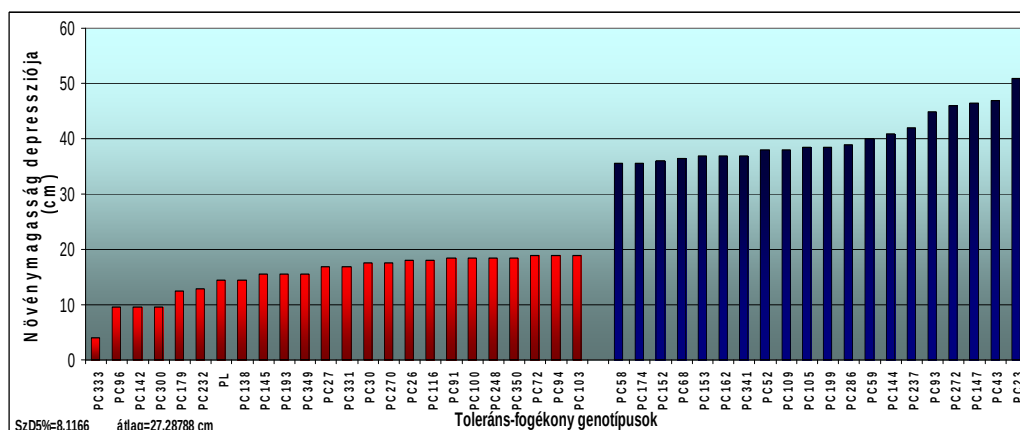
Ez a hatás a 9. ábrán jól megfigyelhető. A szárazság stresszel sújtott növények jóval alacsonyabbak voltak.

A két kezelést összevetve, a teljes populációt alkotó egyedek között, elmondható (minden genotípust önmagához hasonlítva), hogy a vízmegvonás hatására minden genotípus esetében jelentősen csökkent a növénymagasság. A 10. ábra grafikusán foglalja össze a populációról nyert adatokat. A két kezelés hatására kialakult átlag magasságok között több mint 28 cm különbség (csökkenés) volt mérhető, ami a kéttényezős varianciaanalízis elvégzését követően - 5%-os valószínűségi szinten - statisztikailag igazolhatóan szignifikáns különbség.



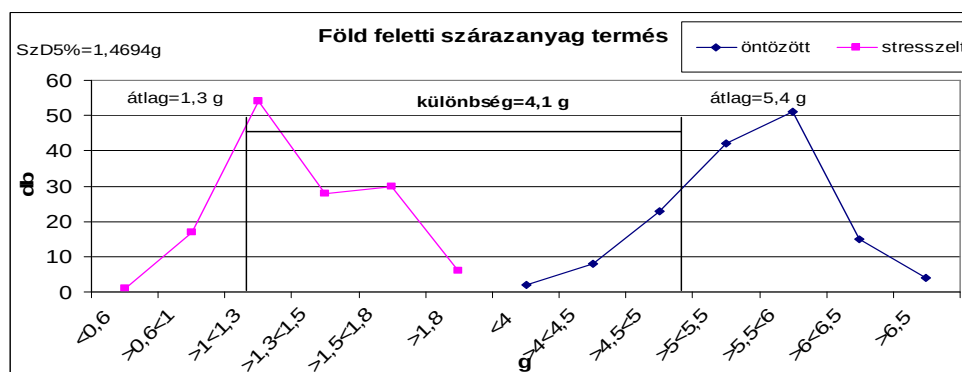
10. ábra. A növénymagasság alakulása a szűkített térképezési populációban optimálisan öntözött (kék színnel) és folyamatos vízmegvonás (lila színnel) mellett.

A szárazság stressz hatására a PC 333-as genotípus kivételével minden genotípus növénymagasság csökkenése szignifikáns mértékű volt. Az átlagos depresszió (magasság csökkenés) a növénymagasság tekintetében 28,3 cm volt. Az ettől az értéktől eltérő genotípusokat - attól függően, hogy kisebb vagy nagyobb az eltérés az átlaghoz képest - toleránsnak és fogékonyak tekinthetjük. Szignifikánsan kisebb mértékű növénymagasság csökkenés 24 genotípus esetében volt mérhető (Melléklet 1. táblázat). Ezek a következők: PC333, PC96, PC142, PC300, PC179, PC232, PL, PC138, PC145, PC193, PC349, PC27, PC331, PC30, PC270, PC26, PC116, PC91, PC100, PC248, PC350, PC72, PC94, PC103 (10. ábra). A 10. ábrán egyértelműen látható, hogy a toleránsnak tekinthető genotípusok növénymagasságának depressziója (Melléklet 1. táblázat) jóval kisebb, mint a fogékony genotípusoké. Fogékony genotípusoknak azokat tekintettük, amelyek növénymagassága az átlaghoz képest szignifikánsan nagyobb mértékben csökkent. Szignifikánsan nagyobb mértékű növénymagasság csökkenés 20 genotípus esetében volt megfigyelhető. Ezek a következők: PC58, PC174, PC152, PC68, PC153, PC162, PC341, PC52, PC109, PC105, PC199, PC286, PC59, PC144, PC237, PC93, PC272, PC147, PC43, PC23. A melléklet 1. táblázatban megfigyelhető, hogy a legkisebb mértékben a PC333-as genotípus növénymagassága csökkent, összesen csak 4cm-rel. A legnagyobb mértékben pedig a PC23-as genotípusé 51 cm-rel. Ebből is látszik, hogy a vizsgált szárazságtűrési populáció genotípusai között, igen nagy különbségek mutatkoztak meg.



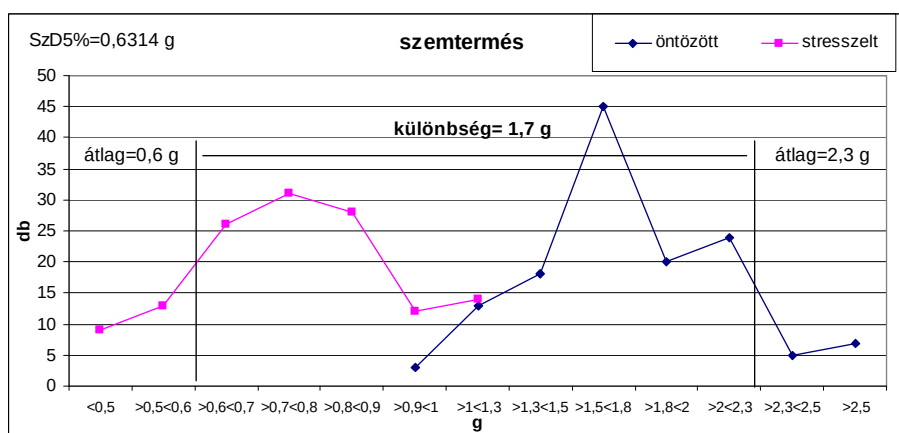
11. ábra. A növénymagasság csökkenése alapján kialakított toleráns és fogékony genotípusok csoportja. A toleránsak piros színnel, fogékonyak kék színnel vannak jelölve.

A föld feletti száraztömeg alatt a teljes növényi részt mértünk, amit szárító szekrényben szárítottunk és a mennyiségi értéket grammban fejeztük ki. A 12. ábrán megfigyelhető, hogy a stressz hatására – ebben az esetben is - a föld feletti szárazanyagtermés jelentősen csökkent. Az összes genotípus esetében szignifikánsan kisebb lett a föld feletti szárazanyag termés a szárazság stressz hatására, a jól öntözött körülményekhez képest. A legkevesebb tömegvesztés a 'Plainsman V' szülőfajtánál figyelhető meg, 2,09 g. A legnagyobb tömegvesztése a PC 210-nek volt, összesen 5,505g-mal lett kisebb a tömege a stressz hatására (Melléklet 2. táblázat). A 12. ábrán látható, hogy a kezelések (optimális öntözés és folyamatos vízmegvonás) átlagai között jelentős különbség figyelhető meg, 4,1 g, ami statisztikailag is szignifikáns mértékű. Az átlagos föld feletti szárazanyagtermés csökkenésektől, szignifikáns mértékben csak a 'Plainsman V' tért el, ezért ebben az esetben, erre a tulajdonságra nézve, a 'Plainsman V' tekinthető toleráns genotípusnak. A melléklet 2. táblázata alapján az is elmondható, hogy a genotípusok között szignifikáns különbségek voltak mérhetők, a föld feletti szárazanyagtermés depressziójában.



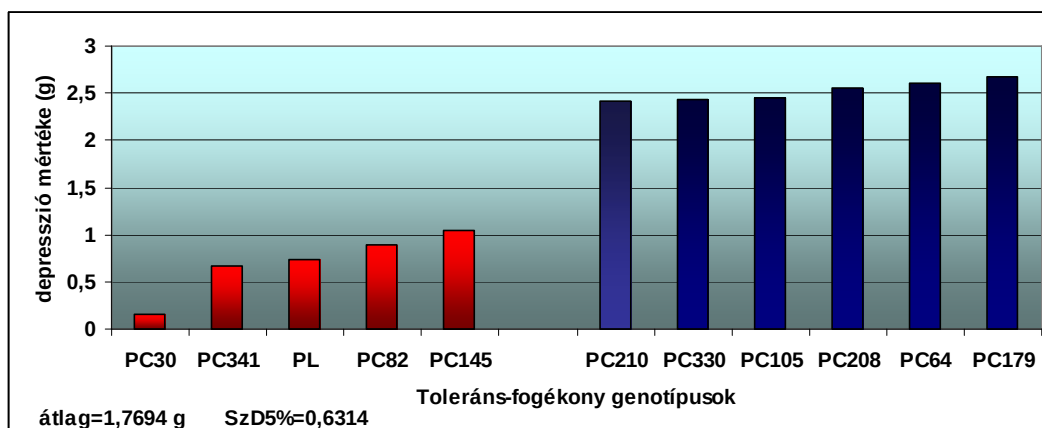
12. ábra. A föld feletti szárazanyagtermés alakulása a szűkített térképezési populációban, öntözött (kék színnel) és folyamatos vízmegvonási körülmények (lila színnel) között.

A szemtermés mennyisége a búza esetében kiemelkedően fontos tulajdonság, hiszen a gazdaságosság egyik kulcsa a termésmennyiség. Ez esetben is egyedenkénti száraz termést mértünk, amit grammban fejeztünk ki. A 13. ábrán megfigyelhető a szemtermés alakulása, az alkalmazott két kezelés hatására. Jól látható, hogy a stressz hatására az átlagtermés jelentős mértékben csökkent, hasonlóan, mint azt az előző két tulajdonságnál is láttuk. A különbség statisztikailag is bizonyítható volt ($SzD=5\%$).



13. ábra. A szemtermés alakulása a szűkített térképezési populációban, öntözött (kék színnel) és folyamatos vízmegvonás (lila színnel) között.

A melléklet 3. táblázatában megtekinthető, hogy a folyamatos szárazság a jól öntözött körülményekhez képest minden esetben csökkentette a szemtermést. Ez a depresszió azonban a populáció egyedeit különböző módon érintette. A PC 30 genotípustól eltekintve, minden esetben a szemtermés csökkenés szignifikáns mértékű volt. Ebben az esetben is, az átlagos szemtermés csökkenéstől szignifikánsan eltérő genotípusokat toleránsnak, vagy fogékonyak tekinthetjük. Az átlaghoz képest szignifikánsan kisebb mértékben csökkent a szemtermés 5 genotípus esetében. A 14. ábrán látható, hogy ezek a PC30, PC341, 'Plainsman V', PC82, PC145 voltak. Ez az öt genotípus a szemtermés csökkenést figyelembe véve toleránsnak tekinthető. Az átlagtól szignifikánsan nagyobb mértékű szemtermés csökkenés hat genotípus esetén figyelhető meg. Ezek voltak: a PC210, PC330, PC105, PC208, PC64 és PC179. Ezek a genotípusok fogékonyak tekinthetőek a szárazság hatására. A 14. ábrán megfigyelhető, hogy a toleráns, valamint a fogékony genotípusok között meglehetősen nagy a különbség a szemtermés depressziójának mértékében.



14. ábra. A szemtermés depressziója alapján létrehozott toleráns és fogékony genotípusok csoportja, a toleránst piros szín-, a fogékonyt kék jelöli.

A három tulajdonságot együtt nézve megállapítható, hogy a szárazság stressz minden esetben depressziót okozott. A 'Plainsman V' szárazság toleráns genotípus mindhárom tulajdonság tekintetében hozta ezt az eredményt. A növénymagasság és a szemtermés csökkenés alapján is toleránsnak mondható a PC 30, valamint a PC 145 genotípus. Fogékonynak a PC 105 genotípus. Az eredmények tükrözik, hogy a szárazságtűrési komplex tulajdonság, ezért nehéz olyan genotípust találni, amely minden vizsgálat tulajdonságra toleránsnak mondható.

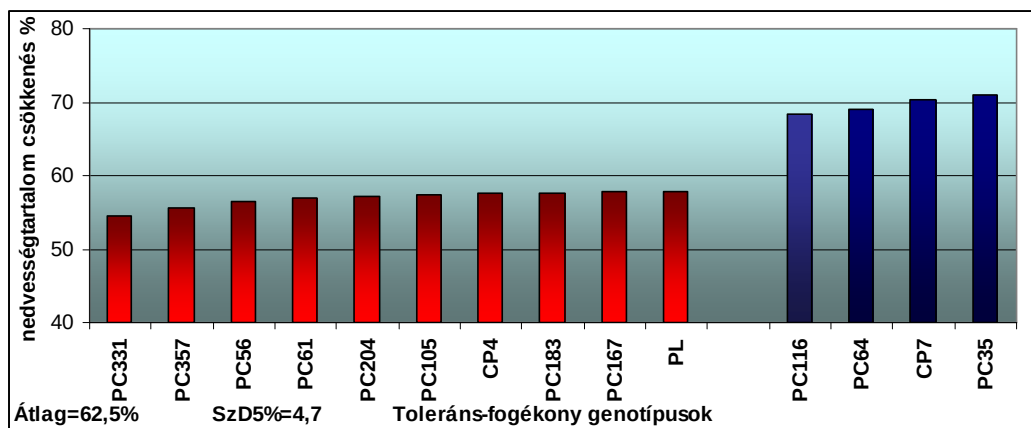
4.3. Levágott levelek víztartó képességének vizsgálata a szűkített szárazságtűrési DH populációban

Mivel az irodalmi adatok alapján, a szárazságtűrési komplex tulajdonság, ezért minél több megközelítésben és mérési módszerrel szeretnénk jellemezni a szűkített szárazságtűrési populáció fenotípusos válaszait. Ebben a fejezetben egy viszonylag könnyen kivitelezhető módszerrel kapott adataim eredményeit foglalom össze.

A levágott levelek víztartó képességének tesztje a bőrszövet vízáteresztő képességét vizsgálja. A vizsgált tulajdonságban nagy jelentősége van a levelek viaszoltságának illetve szőrözöttségének is. A levágott levelek víztartása nagyrészt független a leveleken lévő sztomák számától, mivel azok a levél levágása után bezáródnak, a turgor elvesztésének következtében. A 137 genotípus közül kilencet mérési hiba miatt ki kellett zárni az értékelésből, ezért a továbbiakban csak a megvizsgált 128 genotípussal elért eredményeket foglalom össze.

A levelek átlagos kezdeti víztartalma 66%. A kezdeti víztartalomhoz képest a kezelés hatására a levelek 4-22 % vizet tudtak fölvenni. A relatív víztartalom azt mutatja meg, hogy a vizsgált levélben a vízzel telítetthez képest milyen a valódi víztartalom.

A genotípusok közül az átlaghoz képest szignifikáns mértékben 10 genotípus vesztett kevesebb vizet. Ezek a következők, PC331, PC357, PC56, PC61, PC204, PC105, CP4, PC183, PC167, 'Plainsman V'. Ezeket a genotípusokat toleránsnak tekinthetjük és adataikkal együtt a 15. ábrán gyűjtöttem össze. Az átlaghoz képest szignifikánsan több vizet 4 genotípus vesztett.



15. ábra. A búza genotípusok vízvesztése 24 órás deszikálást követően. A piros szín a toleráns, kék szín a fogékony genotípusokat jelöli

Ezek voltak a PC116, PC64 és a CP7, valamint a PC35-ös genotípus (15. ábra). Ez a négy genotípus fogékonnak tekinthető a vizsgált tulajdonság (vízvesztés) alapján.

A kezdeti relatív víztartalmak (RWC I) tekintetében a genotípusok között szignifikáns különbségeket mértünk, amit a melléklet 4. táblázata foglal össze. A szárazságtűrő genotípusok kezdeti relatív víztartalma általában kisebb. Szignifikánsan a legkisebb kezdeti relatív víztartalommal a PC331, PC61, PC330, PC68, PC80, PC26, PC133, PC32 valamint a PC183 genotípus rendelkezett. A deszikkált relatív víztartalom esetén (RWC II) szintén szignifikáns különbségeket mértünk a genotípusok között. A melléklet 5. táblázatában megfigyelhető, hogy ebben az esetben, a genotípusok között jóval kisebb eltérések mutatkoztak meg, mint a kezdeti relatív víztartalom esetén (melléklet 4. táblázat). A melléklet 6. táblázatában megtekinthető, hogy a víztartó képesség (WRA) meglehetősen kismértékű a mérések alapján. Ennek oka az lehet, hogy a 24 órás deszikálás túlzottan hosszúnak bizonyult, a deszikkált levél tömegek csak kis mértékben tértek el a szárító szekrényben történő szárítás után mért tömegektől, így a víztartó képesség alacsony értéket mutat. A 24 órás szárítás hatására a levelek nagymennyiségű vizet vesztettek. A deszikálást követő relatív víztartalom 0,8-21% között alakult, ebből látszik, hogy a levelek a víztartalmuk több mint 80 %-át elvesztették.

5. KÖVETKEZTETÉSEK (MEGVITATÁS)

A növényeket sújtó szárazság, vagy vízhiány, rendkívül összetett hatás. Évről évre egyre több cikk jelenik meg világszerte az abiotikus stresszhatásról (BRAY ET AL. 2000). A toleráns növények szerepe óriási, a mögötte álló élettani (LEVITT 1980, PASSIOURA 1996, BRAY ET AL. 2000, CHAVES ET AL. 2009) és genetikai (BLUM 1988, JONES 2007, BHATNAGAR-MATHUR ET AL. 2007, CATTIVELLI ET AL. 2008, HESZKY 2008, HERVÉ & SERRAJ 2009, MIR ET AL. 2012) eredményeknek szintén jelentős a felfutása, illetve magas az idézettsége. A 'Plainsman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció fenotipizálási eredményei, eddigiek alapján azt mutatják, hogy a genetikai térképezést jól fogja segíteni.

5.1. A 'Plainsman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési DH populáció mérete és a szűkítési kísérletek

A 'Plainsman V./ Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció eredeti egyedszáma a két szülőt is beleértve 391 független homozigóta genotípusból állt. A populáció nagy mérete miatt szükséges lépés volt a térképezési populáció szűkítése. A szűkítés indokoltságát a szakirodalmak is megerősítették, a genetikai térképezésre használt populációk átlagos mérete 100-200 genotípus méretű. MAPHOSA ET AL. (2013) a 368 genotípusból álló búza térképezési populációból genotipizálásra 192 genotípust használtak föl, LOPES ET AL. (2013) 165 genotípusból álló búza populáción végeztek térképezési munkákat, TEULAT ET AL. (2001a) munkájuk során a két szülővel együtt 189 árpa genotípust vizsgáltak, ZHANG ET AL. (2011) 154 genotípusból álló búza populációval dolgozott. A szárazságtűrés komplex tulajdonság, ezért a szűkítés során a szárazságtűrésben szerepet játszó fenotípus jellegekre igyekeztünk szelektálni.

A vélemények a száraz körülmények között termelt búza optimális magasságáról meglehetősen különbözőek. BORRELI ET AL. (1993) szerint optimális körülmények között a magas szárnak semmilyen előnye nincs. Míg mások szerint a magas szár, mint raktározó szerv előnyös lehet bizonyos körülmények között (HOFFMANN ET AL. 2009). Magyarországon az évi csapadékmennyiség egyenlőtlen eloszlása miatt a túlzottan magas növények megdőlhetnek, ami mind a betakarítást, mind pedig a mi esetünkben a fenotipizálást megnehezíti. Ezért a populáció szűkítésekor igyekeztünk kiszűrni az 1m-nél magasabb genotípusokat.

A következő fontos tulajdonság a szűkítés során a kalászolási idő volt. A szárazság stressz megnyilvánulásától (erősségétől, időtartamától, jelentkezésének időpontjától) függően, a növény számára előnyt jelenthet a korai kalászolás és érés (HOFFMANN ET AL. 2006,

HAJÓSNÉ 2007). A szűkítés során a célunk az volt, hogy a genotípusok között lévő kalászolási időbeni hatalmas különbséget lecsökkentsük. Ha túl nagy a kalászolási időben a különbség, a genotípezálás során, könnyen kalászolási idővel kapcsolatos összefüggéseket találunk majd, amit szeretnénk elkerülni. Igyekeztünk a populációban a korai és közepes kalászolási idővel rendelkező DH genotípusokat kiválasztani, ahogyan tette ezt MAPHOSA ET AL. (2013) is.

Minden agronómiai tulajdonság közül a legfontosabb a szemtermés. A búza esetében a termőképesség alapvetően fontos mennyiségi mutató. Azt a genotípust tekinthetjük szárazságtűrőnek, amelynek termőképessége szárazság hatására a legkisebb mértékben csökken (CSEUZ 2009). A szűkítés során nem a szélsőértékek kizárása volt a célunk, hanem éppen ellenkezőleg, azok megtartása, hogy minél több olyan genotípus legyen a populációban, amely termésben is különböző képen reagál a vízmegvonásra. A populáció szűkítésekor a célunk a normalitás megtartása volt, melyet 'három szigma' szabály alkalmazásával ellenőriztünk (ZÁVOTI 2010).

5.2. Az üvegházi szárazság modellkísérlet fenotípus adatainak megvitatása

Az üvegházi kísérlet kiértékelése során igyekeztünk a búza szempontjából fontos mennyiségi tulajdonságokat vizsgálni, valamint a szűkítés után maradt 137 genotípusból kiválasztani a toleráns, illetve a fogékony genotípusokat, amelyeket a későbbi genotípezálási munkák során is nagy figyelemmel kísérünk majd.

Korábbi irodalmi ismeretek alapján nyilván való megfigyelés volt, hogy a szárazság nagymértékben csökkenti a növénymagasságot és a föl feletti zöld tömeget. ZHANG ET AL. (2011) azt tapasztalták, hogy az általuk vizsgált 154 búza genotípus esetében a szárazság hatására a növénymagasság csökkent. Ezzel az eredménnyel megegyezik, hogy az üvegházi kísérlet során minden genotípus esetében csökkent a növénymagasság (melléklet 1. táblázat).

A föld feletti szárazanyagtermés mértéke összefüggésben áll, mind a növénymagassággal, mind pedig a szemtermés mennyiségével. Ezért ebben az esetben arra számítottunk, hogy a szárazság stressz hatására ez az érték csökkenni fog. Az üvegházi kísérletek során beigazolódott, hogy a szárazság a föld feletti szárazanyagtermés depressziójában mutatkozik meg. Ez megegyezik INAGAKI ET AL. (2010) eredményeivel.

Hazai körülmények között olyan genotípus termesztése a cél, amely minden fejlődési fázisban jól tűri a szárazságot, és termése a vízhiány hatására a lehető legkisebb mértékben csökken (LELLEY 1963). A szárazságtűrés hazánkban a gabonafélék termésbiztonságának egyik meghatározó eleme, nem azt a genotípust tekintjük szárazságtűrőnek, amely túléli a szárazságot, hanem amely stressz hatására kismértékű termés depressziót mutat (SZIRA 2010).

Az üvegházi kísérlet fenotipizálási munkái során ilyen genotípusokat kerestünk, illetve azokat a genotípusokat, amelyek nagymértékű termésdepressziót mutatnak. Ez alapján toleráns és fogékony genotípusokat különböztethettünk meg a populáció átlaghoz képest.

5.3 A levágott levelek vízvesztő képességének vizsgálata

A levágott levelek víztartó képességének tesztje a bőrszövet vízáteresztő képességét vizsgálja. A vizsgált tulajdonságban nagy jelentősége van a levelek viaszoltságának illetve szőrözöttségének is (CSEUZ 2009). A levágott levelek víztartása nagyrészt független a leveleken lévő sztómák számától, mivel azok a levél levágása után bezáródnak a turgor elvesztésének következtében. Ez a teszt egy viszonylag egyszerű, és gyorsan kivitelezhető módszer a szárazságtűrés vizsgálatára.

A relatív víztartalom azt mutatja meg, hogy a vizsgált levélben a vízzel telítetthez képest milyen a valódi víztartalom (HOFFMANN ET AL. 2006). A kísérlet során a levelek átlagos kezdeti víztartalma 66 %, ami nem tér el jelentősen CSEUZ 2009- es mérési eredményeitől, mely 74 % volt.

A víztartó képesség alakulása szempontjából az irodalmi adatoktól eltérően meglehetősen alacsony értékeket kaptunk. CSEUZ (2009) dolgozatában 57% os átlagos víztartó képességről számol be a vizsgált genotípusok átlagában, míg egy korábbi publikációban ARAGHI ÉS ASSAD (1998) 60 %-os víztartó képességről számolt be. Ezekkel az eredményekkel szemben a mi kísérletünkben mindössze 6% os víztartó képességet kaptunk átlagosan. Ez véleményünk szerint annak az eredménye, hogy a kísérlet során kezelésként alkalmazott 24 órás deszifikáció túlzott mértékű volt, a deszikkált levéltömegek alig tértek el a szárító szekrényben szárítás után mért tömegektől. Valószínűleg ez adhatta a mi kísérletünkben tapasztalt nagyon alacsony értéket. Sajnos a nagyszámú vizsgálati minta és a különösen magas külső (szobahőmérséklet) hőmérséklet nem tette lehetővé, hogy 24 órás szárítást rövidebb időre vegyünk. A szoba hőmérsékletet sem tudtuk alacsonyabbra választani. Eredményeink után viszont látjuk, hogy a jövőben a teszt elvégzéséhez jóval rövidebb 8 órás desszifikálást kell alkalmaznunk. Tehát a most alkalmazott protokollunkat meg kell változtatni.

5.4 A szárazságtűrés fenotipizálási kísérletek eddigi eredményeinek gyakorlati összefoglalása

A szárazságtűrés meglehetősen komplex tulajdonság. Ezért ahhoz, hogy egy genotípusról elmondható legyen, hogy toleráns, érzékeny vagy közepes teljesítményű, a vízmegvonással szemben, több, sokoldalú vizsgálatra van szükség. A rendkívül változatos 'Plainsman V./Capelle Desprez' szárazságtűrés térképezési populáció fenotipizálási munkái

során igyekeztünk kiszűrni az átlaghoz képest ellenállóbb, valamint a fogékonyabb genotípusokat, hogy ezekre a későbbi kísérletekben és a genotipizálás során is, fokozottabb figyelmet fordíthassunk.

A szárazságtűrés komplexitása miatt, egy vizsgált tulajdonságra kimért tolerancia vagy fogékonyság, még nem jelenti azt, hogy szárazságtűréssel szemben is ez elmondható. Nagyobb a valószínűsége hogy az adott genotípus valóban szárazságtűrő, vagy érzékeny, ha legalább két, három vagy több vizsgált tulajdonság esetében a toleráns vagy szenzitív csoportba került. Ez alapján a 2. táblázatban azokat a genotípusokat tüntettem föl, amelyek legalább két tulajdonság esetén fogékonnak (kék színnel) vagy toleránsnak (piros színnel) bizonyultak.

A 2. táblázatban feltüntettük a genotípusok fontos agronómiai tulajdonságait is, bemutatva ezzel, hogy a szárazságtűrésre vagy érzékenységre mutató adatokon túl, ezek a genotípusok egyéb agronómiai tulajdonságban sem gyengék. A négy vizsgált tulajdonságot figyelembe véve, négy olyan genotípust találtunk, amely feltehetően toleráns a szárazság stresszel szemben, illetve kettőt, amely fogékony. A 'Plainsman V' minden vizsgált tulajdonság szempontjából toleránsnak mondható, a PC30, PC145 a növénymagasság, valamint a szemtermés depressziójában toleráns, PC 331 a növénymagasság, valamint a levágott levél vízvesztés tesztje alapján került a toleráns genotípusok csoportjába. A fogékony csoportba a PC 64 a szemtermés depresszió, valamint a levágott levél vízvesztés tesztje alapján, míg a PC105 a növénymagasság és a szemtermés depresszió alapján került az érzékeny csoportba. Az adatok különlegessége, hogy toleránsnak nevezhető csoportba ott található a 'Plainsman V.' szárazságtűrő szülő is.

2. táblázat. A toleránsnak (piros színnel), illetve fogékonnak (kék színnel) ítélt genotípusok agronómiai szempontból fontos tulajdonságai

Genotípus	Növény magasság	Kalászás	Szemtermés	Ezerszemtömeg
	cm	nap	g	g
Plainsman V.	66	124	211	38
PC30	95	138	258	35
PC145	80	131	148	43
PC331	75	128	258	34,3
PC64	85	123	317	44,6
PC105	66	126	190	37,6

Reményeink szerint a másik három (PC30, PC145, PC 331) genotípus, ennek a szülőnek a genetikai hátterét örökölte. A 16. ábrán megfigyelhetjük a toleráns genotípusok kalászait, amiből megállapítható, hogy toleránsnak ítélt genotípusok között jelentős a diverzitás. Az utód genotípusok (PC30, PC145, PC331) nem szálkásak, mint a toleráns

Plainsman szülő, és a genotípusok közül csak a PC 331 vörös színű a 'Plainsman V.' –hez hasonlóan.



16. ábra. A szárazságtűréssel szemben – a vizsgált tulajdonságok alapján - toleránsnak talált DH genotípusok kalásza

Fontos hangsúlyozni, hogy fenotipizálási kísérleteinkben, még tovább kell lépni. Eredményeinket még precízebbé (lásd levágott levelek víztartó képessége) és sokoldalúbbá kell tenni, hogy a genotipizálást elvégezhessük.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szárazság és a vízhiány világszerte az egyik legfontosabb termés-csökkentő tényező. A szárazságtűrés komplex tulajdonság, amelynek kialakításában számos gén játszik szerepet. Mindettől függetlenül, a szárazságtűrést, a környezeti tényezők is alapvetően befolyásolják. Egy genotípus vízhiányra adott válasza sok tényezőtől függ. Ezért megbízhatóan toleráns genotípusok létrehozása nagy körültekintést és komplex megközelítést igényel.

Dolgozatom elkészítése során a szegedi Gabonakutató Kft. Biotechnológia Osztályán folyó szárazságtűrés genetikai kutatásba kapcsolódtam be. A vizsgálatokhoz alkalmas térképezési populáció fenotipizálási kutatásainak egy részét végeztem el. A precíz fenotipizálás elvégzésére azért van szükség, mert a további kutatásokhoz (genotipizálás) nélkülözhetetlenek a fenotípusos vizsgálatokból nyert eredmények. A térképezési populáció az amerikai származású 'Plainsman V' (♀), közismerten szárazságtűrő búzafajta, valamint a szárazságra érzékeny francia származású 'Capelle Desprez' (♂) fajta keresztezésével jött létre. A hasadó F₂ nemzedékből, a tiszta vonalak (homozigóta), portoktenyészet alkalmazásával születtek. A teljes térképezési populáció megközelítőleg négyszáz DH (doubled haploid) törzsből állt. A fenotípus eredmények összegzése után, az első fontos feladatom az volt, hogy a populáció méretet lecsökkentsem, könnyen kezelhető méretre (kb. 100-200 pop. méretre). A méret szűkítést a növénymagasság, kalászolási idő, termésmennyiség, ezer szem tömeg adatok alapján végeztem el. Jelenleg a szűkített térképezési populáció 137 DH törzsből áll. A szárazságtűrés kísérletet, kontrollált körülmények között, üvegházban állítottuk be, a szűkített populációval. A szárazság hatását (fenotípus) a földfeletti száraztömeg, növénymagasság, egyedi szemtermés vízmegvonás hatására kialakult mennyiségi adatok csökkenésén (depresszió) mértem. Kísérleti adataim harmadik csoportja a levágott levelek vízmegtartó képességének vizsgálatára irányult, amit szintén a szűkített populáción végeztem el.

Munkám során hozzájárultam, ahhoz, hogy a térképezési populáció méretét könnyen kezelhető populáció méretre csökkentsük le. Ezen túl kísérleteimben, a vízmegvonással előidézett szárazság és optimális öntözésből nyert fenotípus adatokkal (depresszió mértéke), hozzájárultam a genetikai kutatás fontos szakaszához. A kísérleteim eredményeképpen több tulajdonságban toleráns valamint fogékony genotípusokat sikerült elkülöníteni. A toleráns csoportot az ellenálló szülő 'Plainsman V' mellett három DH genotípus PC30, PC145, PC331 alkotja. A kísérleteim eredményeképpen elkülönített fogékony és toleráns genotípusok a későbbi kutatásban jól hasznosíthatóak lehetnek.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni mindazoknak, akik segítséget nyújtottak tudományos diákköri dolgozatom elkészítése során. Köszönöm Dr. Kiss Erzsébet intézetvezető professzornak a belső témavezetői munkát, hasznos tanácsait. Köszönöm Dr. Pauk János kutatási igazgató helyettesnek, külső témavezetőnek, hogy végig segítséget nyújtott a kísérleti munkában. Diplomadolgozatom elkészítését folyamatosan ellenőrizte és hasznos tanácsokkal segített. Szintén köszönöm a szegedi Gabonakutató Kft Biotechnológia Osztályán dolgozóknak a sok-sok segítséget, amivel kísérleteim elvégzésében önzetlenül támogattak. Külön köszönöm Dr. Lantos Csabának a statisztikai kiértékeléshez adott hasznos tanácsait.

8. IRODALOM

- ARAGHI S. G., ASSAD M.T. (1998): Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica*, 103 (3): 293-299.
- BACON M.A. (2004): Water use efficiency in plant biology. In: Bacon M.A. (ed.): Water use efficiency in plant biology. CRC Press, Boca Raton Florida, 141 p., 1-22. p.
- BENNETT D., IZANDRO A., REYNOLDS M., KUCHEL H., LANGRIDGE P., SCHUENBUSCH T. (2012): Genetic dissection of grain yield and physical grain quality in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limited environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 125 (2): 255-271.
- BHARGAVA S., SAWANT K. (2013): Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*, 132 (1): 21-32.
- BHATNAGAR-MATHUR P., VADEZ V., SHARMA K. KIRAN (2008): Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant Cell Reports*, 27 (3): 411-424.
- BLUM A. (1988): Drought resistance. In: Blum A. (ed): Plant breeding for environmental stresses. CRC Press, Boca Raton Florida, 223 p., 43-77. p.
- BLUM A. (1996): Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20 (2): 135-148.
- BLUM A. (2009): Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) in the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112(2-3): 199-123.
- BLUM A., SHPILER L., GOLAN G., MAYER J., SINMENA B. (1991): Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica*, 54 (1): 111-116.
- BOYER J.S.(1985): Water transport. *Annual Review of Plant Physiology*, 36:473-516.
- BRAY E.A., BAILEY-SERRES J., WERETILNYK E.A. (2000): Responses to Abiotic Stresses. In: Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. (ed.): *Biochemistry & Molecular Biology of plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, 1408 p., 1158-1177 p.
- CATTIVELLI L., RIZZA F., BADECK F-W., MAZZUCOTELLI E., MASTRANGELO M.A., FRANCA E., MARÉ C., TONDELLI A., STANCA M.A. (2008): Drought tolerance improvement in crop plants : An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105 (1-2): 1-14.

- CHANDRASEKAR V., SAIRAM R.K., SRIVASTAVA G.C. (2000): Physiological and Biochemical Responses of Hexaploid and Tetraploid Wheat to Drought Stress. *Agronomy and Crop Science*, 185 (4): 219-227.
- CHAVES M.M., FLEXAS J., PINHEIRO C. (2009): Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103 (4): 551-560.
- COBB J.N., GREENBERG A., DECLERK G., CLARK R., MCCOUCH S. (2013): Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype-phenotype relationships and its relevance to crop improvement. *Theoretical and Applied Genetics*, 126 (4): 867-887.
- CSEUZ L. (2009): A szárazságtűrő őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nemesítésének lehetőségei és korlátai. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 125 p.
- CSEUZ L., MATUZ J. (2012): Búzanemesítési célok és módszerek a jövő évtizedek növénytermesztési feladataihoz. Objects and methods of wheat breeding for the task of crop production in the future decades. LIV. Georgikon napok, Keszthely, 11-12 October 2012., 97-111. p.
- CSEUZ L., PAUK J., KERTÉSZ Z., MATUZ J., FÓNAD P., TARI I., ERDEI L. (2002): Wheat breeding for tolerance to drought stress at the Cereal Research Non-Profit Company. *Acta Biologica Szegediensis*, 46 (3-4): 25-26.
- DUDITS D. (2006): A Vízhiány okozta stressz válaszok molekuláris háttere: átprogramozott anyagcsere. In: Dudits D. (szerk.): A Búza nemesítésének Tudománya - A funkcionális genomikától a vetőmagig. MTA Szegedi Biológiai Központ - WINTER FAIR KFT., Szeged, 334 p., 117-131. p.
- FARRANT J.M., BAILLY C., LEYMARIE J., HAMMAN B., COME D., CORBINEAU F. (2004): Wheat seedlings as a model to understand desiccation tolerance and sensitivity. *Physiologia Plantarum* 120 (4): 563-574.
- FORGÓNÉ G.A. (2009): Búzafajták szárazságtűrésének élettani indikátorai. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 109 p.
- FRIDVALSZKY L., HORTOBÁGYI T. (2007): A növények vízforgalma. In: Láng F. (szerk.): Növényélettan - A növényi anyagcsere I. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 1034 p., 567-568. p.
- GALIBA G., TÓTH B. (2006): A búzagének térképezése: molekuláris markerek és kvantitatív tulajdonságokért felelős kromoszómaregiók (QTLs). In: Dudits D. (szerk.): A Búza nemesítésének Tudománya - A funkcionális genomikától a vetőmagig. MTA Szegedi Biológiai Központ - WINTER FAIR KFT., Szeged, 334 p., 44-56. p.

- HAJÓSNÉ N.M. (2007): A növénynemesítés alapjai. SZIE jegyzet, Gödöllő, 102 p.
- HARASZTY Á. (szerk.) (1978): Növényszervezetan és növényélettan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 800 p.
- HERVÉ P., SERRAJ R. (2009): Gene technology and drought: A simple solution for a complex trait? *African Journal of Biotechnology*, 8 (9): 1740-1749.
- HESZKY L. (2007): Szárazságtűrés és a növény kapcsolata. *Agrofórum*, 18(11): 36-40.
- HESZKY L. (2008): Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? *Agro napló* 2008(3): 38-39.
- HESZKY L. (2012a): Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? (1.) - a növény és a víz kapcsolata. *Agrofórum*, 23(10): 6-10.
- HESZKY L. (2012b): Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? (2.) - A tudomány lehetőségei aszálytűrő növényfajták előállításában. *Agrofórum*, 23(11): 9-13.
- HOFFMANN B., ARANYI N., HOFFMANN S., MOLNÁR-LÁNG M. (2009): Possibilities to increase stress tolerance of wheat. Neum, Bosnia-Herzegovina, 27 April - 2 May 2009., 93-96 p.
- HOFFMANN B., CSEUZ L., PAUK J. (2006): Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. In: Dudits D. (szerk.): A Búza nemesítésének Tudománya - A funkcionális genomikától a vetőmagig. MTA Szegedi Biológiai Központ - WINTER FAIR KFT., Szeged, 334 p., 191-217 p.
- INAGAKI M.N., J. VALKOUN, NACHIT M.M. (2007): Effect of soil water deficit on grain yield in synthetic bread wheat derivatives. *Cereal Research Communications*, 35(4): 1603-1608.
- INAGAKI M.N., MORI M., NACHIT M. (2010): Yield comparison for synthetic-derived bread wheat genotypes with different water uptake abilities under increasing soil water uptake abilities under increasing soil water deficits. *Cereal Research Communications*, 38(4): 497-505.
- ISLAM T.M., SEDGELY R.H. (1981): Evidence for 'uniculm' effect in spring wheat (*Triticum aestivum* L) in Mediterranean environment. *Euphytica*, 30(2): 277-282.
- JONES H.G. (2007): Monitoring plant and soil water status established and novel methods revisited their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58 (2): 119-130.
- KAUR V., BEHL R.K. (2010): Grain yield in wheat as affected by short periods of high temperature, drought and their integration during pre and post anthesis stages. *Cereal Research Communications*, 38 (3): 514-520.

- KISS E. (2005): Genom-analízis, funkcionális genomika. In: Heszky L., Fésűs L., Hornok L. (szerk.): Mezőgazdasági biotechnológia. Agroinform kiadó, Budapest, 368 p., 211-220. p.
- KOCSY G., SZALAI G., GALIBA G. (2004): Effect of osmotic stress on glutathione and hydroxymethylglutathione accumulation in wheat. *Journal of Plant Physiology*, 161(7): 785-794.
- LANTOS Cs., PÁRICSI S., ZOFAJOVA A., WEYEN J, PAUK J. (2006): Isolated microspore culture of wheat (*Triticum aestivum* L.) with Hungarian cultivars. *Acta Biologica Szegediensis*, 50(1-2): 31-35.
- LANTOS Cs., (2009): Az in vitro androgenezis indukciója búzában (*Triticum aestivum* L.), tritikáléban (*X Triticosecale Wittmack*), Fűszerpaprikában (*Capsicum annum* L.) és az eredmények felhasználása a nemesítésben. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 108 p.
- LELLEY J. (1963): A nemesítés módszerei. In: Lelley J., Mándy GY (Szerk.): A búza (*Triticum aestivum* L.). Kultúrflóra sorozat 19., Akadémiai Kiadó, Budapest, 333 p., 233-240. p.
- LEVITT, J. (1980): Response of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, London. 697 p.
- LOPES S.M., REYNOLDS M.P., MCINTYRE C.L., MATHEWS K.L., KAMALI M.R.J., MOSSAD M., FELTAOUS Y., TAHIR I.S.A., CHATRATH R., OGBONNAYA F., BAUM M. (2013): QTL for yield and associated traits in the Seri/Babax population grown across several environments in Mexico, in the West Asia, North Africa and South Asia regions. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(4): 971-984.
- MAPHOSA L., LANGRIDGE P., TAYLOR H., CHALMERS K.J., BENNET D., KUCHEL H., MATHER D.E. (2013): Genetic control of processing quality in a bread wheat mapping population grown in water-limited environments. *Journal of Cereal Science*, 57(3): 304-311.
- MIAN M.A.R., NAFZIEGER E.D., KOLB F.L., TEYKER R.H. (1993): Root growth of wheat genotypes in hydroponic culture and in greenhouse under different soil moisture regimes. *Crop science*, 33(2): 283-286.
- MIR R.R., ZAMAN-ALLAH M., SREENIVASULU N., TRETHOWAN R., VARSHNEY R.K. (2012): Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(5):625-645.
- MORGAN J.M. (1984): Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35:299-315.

- MORI M., INAGAKI M.N., INOUE T., NACHIT M.M. (2011): Association of root water – uptake ability with drought adaption in wheat. *Cereal Research Communications*, 39(4): 551-559.
- NIEDZWIEDZ-SIEGIEN I., BOGATEK-LESZCZYNSKA R., COME D., CORBINEAU F. (2004): Effects of drying rate on dehydration sensitivity of excised wheat seedling shoots as related to sucrose metabolism and antioxidant enzyme activities. *Plant Science*, 167 (4): 879-888.
- OBER E.S., CLARK C.J.A., LE BLOA M., ROYAL A., JAGGARD K., PIGEON J.D. (2004): Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet, agronomic traits of diverse genotypes under drought and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 90(2-3): 213-234.
- OSIPOVA S.V., PERNYAKOV A.V., PERNYAKOVA M.D., DAYTOV V.A., PSHINCHNIKOVA T.A., BRÖNER A. (2011): Tolerance of prolonged drought among a set of bread wheat chromosome substitution lines. *Cereal Research Communications*, 39(3): 343-351.
- ÖRDÖG V., LÁNG Z.: *Növényélettan*.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_01_Novenyelettan/pr01.html (2013 június).
- PANTUWAN G., FUKAI S., COOPER M., RAJATASEREKUL S., O'TOLLE J.C. (2002): Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part 1. Grain yield and yield components. *Field Crops Research*, 73(2): 153-168.
- PASSIOURA J.B. (1996): Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*, 20(2): 79-83.
- PAUK J., MIHÁLY R., PUOLIMATKA M. (2003): Protocol of wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture. In: Maluszynski M., Kashak J., Froster B.P., Szarejko I. (ed.): *Doubled Haploid Production in Crop Plants: A manual*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 428 p., 59-64. p.
- PETHŐ M. (1998): A növények vízgazdálkodása. In: Pethő M. (szerk.): *A növényélettan alapjai*. Akadémiai kiadó, Budapest, 180 p., 44-45. p.
- PIGEON J.D., OBER E.S., QI A., CLARK C.J.A., ROYAL A., JAGGARD K.W. (2006): Using multi-environment sugar beet variety trials to screen drought tolerance. *Field Crops Research*, 95(2-3): 268-279.
- RICHARDS R.A., CONDON A. G., REBETZKE G.J. (2001): Traits to Improve yield in dry environmental. In: Reynolds M.P., Ortiz-Monasterio J.I., McNab A. (ed.): *Application*

- of physiology in wheat breeding. International Maize and Wheat Improvement Center-CIMMYT, Mexico, 240 p., 88-100. p.
- RIZZA F., BADECK F.W, CATTIVELLI C, DESTRI O.D., FONZO N., SANCA A.M. (2004): Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 44(6): 2127-2137.
- ROYO C., BLANCO R., SOURCE R. (1998): Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticales. *Field Crops Research*, 59(3): 201-212.
- SALEM K.F.M., RÖDER M. S., BRÖNER A. (2007): Identification and mapping quantitative trait loci for stem reserve mobilisation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 35(3): 1367-1374.
- SCHONFELD M.P., RICHARD J.C., CARVER B.F., MORNHI N.W. (1988): Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28(3): 526-531.
- STREDA T., DOSTÁL V., HORÁKOVÁ V., CHOUPEK O. (2012): Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*, 104(C): 203-209.
- SUZUKY PINTO R., REYNOLDS M.P., MATHEWS KY. L., MCINTYRE C.L. (2010): Heat and drought adaptive QTL in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. *Theoretical and Applied Genetics*, 121(6): 1001-1021.
- SZABÓ-HEVÉR Á. (2013): A kalászfuzárium rezisztencia molekuláris hátterének vizsgálata a Frontana eredetű térképező búzapopulációkban. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 141 p.
- SZIRA F. (2010): Árpa szárazságtűrését befolyásoló lókuszok azonosítása és marker alapú szelekcióra való alkalmasságuk vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 96 p.
- TEULAT B., BORRIES C., THIS D. (2001): New QTL-s identified for plant water status, water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in barley population grown in a growth-chamber under two water regimes. *Theoretical and Applied Genetics*, 103(1): 774-787.
- TOLDI O., JENES B. (2000): Génekkal a stressz ellen, Aszály ellen védekező növények. *Élet és Tudomány*, 55(33): 1036-1038.
- TÓTH S. (2009): A *Craterostigma plantagineum* Hochst. és a *Ramonda myconi* Reichb., mint a kiszáradástűrés tanulmányozásában fontos modellnövények, szövettenyésztése és genetikai transzformációja. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 104 p.

- UANG B.E., CLIFFORD D., CAVANAGH C. (2013): Selecting subsets of genotyped experimental populations for phenotyping to maximize genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(2): 379-388.
- VENORA D., CALCAGNO F. (1991): Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. On drought adaptation. *Cereal Research Communication*, 19 (3): 319-327.
- VOLTAS J., LÓPEZ-CÓRCOLES H., BORRÁS G. (2005): Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multienviromental trails. *European Journal of Agronomy*, 22(3): 309-324.
- WHITE J. W., ANDRADE-SANCHEZ P., GORE M. A., BRONSON K. F., COFFELT T. A., CONLEY M.M., FELDMANN K.A., FRENCH A.N., HEUN J.T., HUNSAKER D.J., JENKS M.A., KIMBALL B.A., ROTH R.L., STRAND R.J., THORP K.R., WALL G.W., WANG G. (2012): Field-based phenomics for plant genetics research. *Field Crops Research*, 133(0): 101-112.
- ZÁVOTI J (2010) Nevezetes valószínűség eloszlások. *Matematika III* http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_MA3-5/ch01s03.html (2013 október)
- ZHANG J., HAO C., REN Q., CHANG X., LIU G., JING R. (2011): Association mapping of dynamic developmental plant height in common wheat. *Planta*, 234(5): 891-902.

9. MELLÉKLET

1. táblázat. A vízmegvonás hatása a szűkített 'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció növénymagasságra. A depresszió mértéke (cm) után található eltérő betű statisztikailag szignifikánskülönbséget jelöl (SzD5%)

Genotípus	Depresszió	Genotípus	Depresszió	Genotípus	Depresszió	Genotípus	Depresszió
	(cm)		(cm)		(cm)		(cm)
PC333	4 a	PC80	22,5 cd	PC357	27,5 cd	PC64	34,5 de
PC96	9,5 ab	PC183	22,5 cd	PC67	28 cd	PC74	34,5 de
PC142	9,5 ab	PC171	23 cd	PC161	28 cd	PC108	34,5 de
PC300	9,5 ab	CP6	23,5 cd	PC330	28 cd	PC149	34,5 de
PC179	12,5 b	PC78	23,5 cd	PC332	28 cd	PC129	35 de
PC232	13 bc	PC185	23,5 cd	PC65	28,5 cd	PC181	35 de
PL	14,5 bc	PC352	23,5 cd	PC84	28,5 cd	PC208	35 de
PC138	14,5 bc	PC75	24,5 cd	PC192	28,5 cd	PC58	35,5 de
PC145	15,5 bc	PC172	24,5 cd	PC310	28,5 cd	PC174	35,5 de
PC193	15,5 bc	CP21	25 cd	PC211	29 cd	PC152	36 de
PC349	15,5 bc	PC106	25 cd	PC41	29,5 d	PC68	36,5 de
PC27	17 bc	PC133	25 cd	PC205	29,5 d	PC153	37 de
PC331	17 bc	PC167	25 cd	PC31	30 de	PC162	37 de
PC30	17,5 bc	PC279	25 cd	PC88	30 de	PC341	37 de
PC270	17,5 bc	CP4	25,5 cd	PC89	30 de	PC52	38 e
PC26	18 bc	PC119	25,5 cd	PC158	30 de	PC109	38 e
PC116	18 bc	PC164	25,5 cd	PC287	30 de	PC105	38,5 e
PC91	18,5 bc	PC177	25,5 cd	PC292	30 de	PC199	38,5 e
PC100	18,5 bc	PC207	25,5 cd	PC76	30,5 de	PC286	39 ef
PC248	18,5 bc	PC37	26 cd	PC104	30,5 de	PC59	40 ef
PC350	18,5 bc	PC176	26 cd	PC336	30,5 de	PC144	41 ef
PC72	19 bc	PC215	26 cd	PC130	31 de	PC237	42 ef
PC94	19 bc	PC322	26 cd	PC340	31 de	PC93	45 ef
PC103	19 bc	PC56	26,5cd	PC359	31 de	PC272	46 ef
PC48	19,5 bc	PC81	26,5cd	PC121	31,5 de	PC147	46,5 ef
PC86	19,5 bc	PC111	26,5cd	PC146	31,5 de	PC43	47 f
PC120	19,5 bc	PC159	26,5cd	PC110	32 de	PC23	51 f
PC137	19,5 bc	PC210	26,5cd	PC216	32 de		
PC229	20 bc	PC296	26,5cd	PC50	33 de		
PC82	20,5 bc	CP3	27 cd	PC113	33 de		
PC32	21 c	PC135	27 cd	PC139	33 de		
PC107	21,5 cd	PC141	27 cd	PC261	33 de		
PC191	21,5 cd	PC61	27,5cd	PC35	33,5 de		
CP7	22,5 cd	PC204	27,5cd	PC226	34 de		
CP12	22,5 cd	PC295	27,5cd	CD	34,5 de		
SzD5%= 8.1166							

2. táblázat. A szárazság stressz hatása a föld feletti szárazanyagtermésre. A depresszió mértéke grammban van kifejezve. A depresszió adatot követő különböző betű statisztikailag igazolható szignifikáns különbséget jelöl (SzD5%).

genotípus	depresszió	genotípus	depresszió	genotípus	depresszió	genotípus	depresszió
	(g)		(g)		(g)		(g)
PL	2,09 a	PC139	3,86 bc	PC106	4,225bc	PC74	4,63 bc
PC92	2,79 ab	PC331	3,865bc	PC111	4,23 bc	PC138	4,63 bc
PC141	2,895ab	PC159	3,87 bc	PC336	4,23 bc	PC261	4,63 bc
PC81	2,975ab	PC205	3,875bc	CP6	4,235bc	PC204	4,64 bc
PC229	3,045ab	PC330	3,875bc	PC48	4,28 bc	PC72	4,645 bc
PC108	3,115ab	PC35	3,89 bc	PC149	4,285bc	PC147	4,675 bc
PC145	3,235ab	PC86	3,895bc	PC58	4,295bc	PC133	4,685 bc
PC91	3,24 ab	PC216	3,9 bc	PC50	4,31 bc	PC110	4,695 bc
PC142	3,305ab	PC121	3,905bc	PC171	4,315bc	CP3	4,705 bc
PC82	3,33 ab	PC84	3,915bc	PC52	4,32 bc	PC75	4,705 bc
PC94	3,36 ab	PC192	3,945bc	PC359	4,325bc	PC137	4,71 bc
PC30	3,395ab	PC78	3,95 bc	PC332	4,33 bc	PC59	4,735 bc
CP4	3,45 ab	PC279	3,955bc	CP21	4,335bc	PC37	4,74 bc
PC211	3,47 ab	CP12	3,96 bc	PC65	4,34 bc	PC23	4,755bc
PC31	3,495ab	PC158	3,96 bc	PC177	4,345bc	PC32	4,755bc
CP7	3,505ab	PC88	4,005bc	PC130	4,36 bc	PC93	4,795bc
PC183	3,535ab	PC295	4,005bc	PC272	4,375bc	PC185	4,82 bc
PC80	3,545ab	PC193	4,01 bc	PC167	4,38 bc	PC176	4,84 bc
PC333	3,565 b	PC349	4,02 bc	PC207	4,38 bc	PC357	4,92 bc
PC100	3,575 b	PC41	4,03 bc	PC113	4,425bc	PC179	4,94 bc
PC248	3,65 bc	PC146	4,05 bc	PC129	4,43 bc	PC105	5,015bc
PC215	3,67 bc	PC300	4,08 bc	PC191	4,445bc	PC43	5,045 c
PC232	3,67 bc	PC340	4,115bc	PC162	4,45 bc	PC109	5,09 c
PC152	3,675bc	CD	4,125bc	PC286	4,46 bc	PC76	5,105 c
PC116	3,7 bc	PC103	4,125bc	PC26	4,48 bc	PC208	5,215 c
PC270	3,7 bc	PC107	4,125bc	PC161	4,505bc	PC64	5,315 c
PC120	3,745bc	PC119	4,125bc	PC292	4,53 bc	PC61	5,35 c
PC341	3,745bc	PC89	4,13 bc	PC322	4,53 bc	PC210	5,505 c
PC96	3,76 bc	PC199	4,135bc	PC67	4,56 bc		
PC310	3,765bc	PC56	4,16 bc	PC153	4,565bc		
PC172	3,79 bc	PC174	4,165bc	PC352	4,57 bc		
PC287	3,795bc	PC164	4,17 bc	PC104	4,575bc		
PC144	3,835bc	PC237	4,17 bc	PC135	4,58 bc		
PC226	3,855bc	PC27	4,2 bc	PC68	4,605bc		
PC350	3,855bc	PC296	4,21 bc	PC181	4,62 bc		
SzD5%=	1,4694						

3. táblázat. A szárazság stressz hatására kialakult szemtermés csökkenés (depresszió) a vizsgált térképezési populációban. A depresszió adatot követő különböző betű, statisztikailag igazolható szignifikáns különbséget jelöl (SzD5%).

genotípus	depresszió	genotípus	depresszió	genotípus	depresszió	genotípus	depresszió
	(g)		(g)		(g)		(g)
PC30	0,155 a	PC31	1,545cd	PC161	1,87 cd	PC332	2,05 cd
PC341	0,665ab	PC350	1,545cd	PC322	1,87 cd	PC72	2,075cd
PL	0,74 ab	PC139	1,55 cd	PC27	1,88 cd	PC32	2,085cd
PC82	0,885 b	PC172	1,55 cd	PC58	1,88 cd	PC68	2,105cd
PC145	1,04 bc	PC183	1,575cd	PC93	1,88 cd	PC181	2,105cd
PC248	1,165bc	PC100	1,595cd	PC176	1,88 cd	PC61	2,125cd
PC142	1,175bc	PC120	1,595cd	PC331	1,88 cd	PC23	2,13 cd
PC141	1,23 bc	PC192	1,63 cd	PC48	1,885cd	PC296	2,13 cd
PC146	1,255bc	PC35	1,635cd	PC50	1,895cd	PC191	2,175 d
PC229	1,325bc	PC106	1,635cd	PC52	1,895cd	PC357	2,18 d
PC149	1,34 bc	PC340	1,64 cd	PC295	1,9 cd	PC153	2,19 d
PC215	1,34 bc	PC137	1,645cd	PC349	1,9 cd	PC110	2,215 d
PC159	1,345bc	PC270	1,645cd	PC107	1,915cd	PC76	2,22 d
PC116	1,355bc	PC37	1,66 cd	PC113	1,915cd	PC59	2,255 d
PC279	1,37 bc	PC129	1,665cd	PC111	1,92 cd	PC185	2,26 d
PC310	1,405bc	PC86	1,67 cd	PC287	1,92 cd	PC75	2,27 d
PC333	1,425bc	PC158	1,67 cd	PC359	1,92 cd	CP3	2,295 d
PC216	1,43 bc	PC226	1,68 cd	PC193	1,935cd	PC138	2,31 d
PC130	1,435bc	CP4	1,695cd	PC171	1,95 cd	PC109	2,33 d
PC89	1,445bc	PC65	1,695cd	PC174	1,95 cd	PC43	2,335 d
PC211	1,445bc	PC41	1,745cd	PC177	1,95 cd	PC147	2,385 d
PC88	1,465bc	CP12	1,755cd	PC144	1,955cd	PC210	2,42 d
PC232	1,465bc	CP6	1,765cd	PC103	1,96 cd	PC330	2,435 d
PC91	1,475bc	CD	1,77 cd	PC237	1,96 cd	PC105	2,445 d
PC300	1,48 bc	PC78	1,77 cd	PC286	1,96 cd	PC208	2,555 d
PC94	1,485bc	PC205	1,775cd	PC67	1,98 cd	PC64	2,605 d
PC74	1,49 bc	PC207	1,78 cd	PC108	1,98 cd	PC179	2,68 d
PC80	1,49 bc	PC162	1,785cd	PC272	1,98 cd		
PC119	1,49 bc	PC261	1,785cd	PC292	1,985cd		
CP7	1,505bc	PC81	1,815cd	PC164	1,99 cd		
PC96	1,505bc	CP21	1,835cd	PC152	2,005cd		
PC56	1,515bc	PC133	1,845cd	PC104	2,02 cd		
PC352	1,515bc	PC135	1,85 cd	PC26	2,025cd		
PC84	1,535 c	PC167	1,86 cd	PC336	2,045cd		
PC121	1,54 c	PC199	1,86 cd	PC204	2,05 cd		
SzD5%=	0,6314						

4. táblázat. A kezdeti relatív víztartalom alakulása a'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció esetében. Az RWC I (relative water content) % után található eltérő betű statisztikailag szignifikánskülönbséget jelöl (SzD=5%).

Genotípus	RWC1%		Genotípus	RWC1%		Genotípus	RWC1%	
PC331	60,81	a	PC138	77,75	bc	PC270	84,55	cd
PC61	62,99	ab	PC332	78,03	bc	PC139	84,56	cd
PC330	64,89	ab	PC147	78,30	c	PC192	84,62	cd
PC68	67,19	ab	PC152	78,30	c	PC81	84,71	cd
PC80	67,30	ab	PC336	78,50	c	PC105	84,74	cd
PC26	68,20	ab	PC300	78,50	c	PC232	84,79	cd
PC133	68,40	ab	PC292	78,55	c	PC144	84,87	cd
PC32	68,65	ab	PC295	78,75	c	PC158	85,05	cd
PC183	68,85	ab	PC123	78,84	c	PC92	85,33	cd
PC129	69,56	b	PC179	79,57	cd	PC193	86,04	cd
PC88	69,70	b	PC119	79,61	cd	PC48	86,12	cd
PC86	70,98	bc	PC100	79,77	cd	PC110	86,19	cd
PC191	71,23	bc	PC84	79,83	cd	PC75	86,21	cd
PC149	71,58	bc	PC352	80,29	cd	CD	86,31	cd
PC72	71,80	bc	PC176	80,34	cd	PC103	86,52	cd
PC145	72,46	bc	PC349	80,39	cd	PC56	87,56	cd
PC204	72,49	bc	PC199	80,75	cd	PC113	87,65	d
PC171	72,54	bc	PC142	80,79	cd	PC74	87,83	d
PC272	72,63	bc	PC248	80,82	cd	PC116	87,89	de
PC78	73,80	bc	PC340	80,99	cd	PC226	87,90	de
PC205	73,86	bc	PC185	81,05	cd	PC164	87,94	de
CP6	74,00	bc	PC296	81,10	cd	PC89	88,04	de
PC196	74,08	bc	PC111	81,14	cd	PC141	88,55	de
PC76	74,29	bc	PC357	81,20	cd	PC27	89,56	de
PC162	74,66	bc	PC95	81,51	cd	PC117	89,95	de
PC104	74,82	bc	PC261	81,55	cd	PC43	90,01	de
PC146	75,44	bc	CP4	81,81	cd	PC137	90,21	de
PC215	75,54	bc	PC207	81,97	cd	PC67	90,58	de
PC120	75,58	bc	PC109	82,01	cd	PC91	90,94	de
PC177	75,65	bc	PC310	82,04	cd	CP3	91,46	de
PC181	75,74	bc	PC287	82,16	cd	PC37	92,34	de
PC286	75,96	bc	PC96	82,45	cd	PC64	93,09	de
PC237	76,00	bc	PC359	82,53	cd	PC31	94,93	de
PC210	76,22	bc	PC106	82,54	cd	PC30	94,97	de
PC94	76,48	bc	PC159	83,04	cd	CP12	96,37	e
PC211	76,54	bc	PC107	83,23	cd	PC23	97,95	ef
PL	76,60	bc	PC229	83,34	cd	PC35	99,84	ef
PC208	77,06	bc	PC167	83,61	cd	CP7	116,62	f
PC82	77,08	bc	PC350	83,64	cd	SzD5%	8.5069	
PC130	77,36	bc	PC58	83,99	cd			
PC135	77,42	bc	PC52	84,10	cd			
PC172	77,43	bc	PC216	84,14	cd			
PC59	77,49	bc	PC174	84,16	cd			
PC121	77,58	bc	PC341	84,19	cd			
PC93	77,60	bc	PC322	84,38	cd			

5. táblázat A deszikkált relatív víztartalom alakulása a'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció esetében. Az RWC II (relative water content) % után található eltérő betű statisztikailag szignifikánskülönbséget jelöl (SzD5%).

Genotípus	RWCII%		Genotípus	RWCII%		Genotípus	RWCII%	
PC88	0,833	a	PC177	2,962	ab	PC123	5,453	ab
PC72	1,380	ab	PC67	2,973	ab	PC359	5,574	ab
PC80	1,439	ab	PC270	2,977	ab	PC162	5,592	ab
PC237	1,460	ab	PC144	3,033	ab	PC216	5,777	ab
PC35	1,776	ab	PC129	3,085	ab	PC292	5,811	ab
PC96	1,865	ab	PC310	3,095	ab	PC332	5,892	ab
PC336	1,929	ab	PC95	3,104	ab	PC113	5,997	ab
PC171	1,940	ab	PC58	3,116	ab	PC120	6,326	b
PC61	1,947	ab	PC109	3,136	ab	PC84	6,356	bc
PC78	1,950	ab	PC130	3,142	ab	PC152	6,467	bc
PC139	1,990	ab	PC331	3,222	ab	PC81	6,577	bc
PC82	2,007	ab	PC142	3,275	ab	PC89	6,749	bc
PC116	2,070	ab	PC193	3,302	ab	PC158	6,841	bc
PC340	2,092	ab	PC147	3,395	ab	PC296	6,927	bc
PC32	2,122	ab	PC172	3,404	ab	PC183	6,937	bc
CP3	2,146	ab	PC226	3,431	ab	PC322	6,951	bc
PC76	2,149	ab	PC106	3,434	ab	PC350	6,959	bc
PC149	2,202	ab	CP7	3,504	ab	PC107	7,081	bc
PC133	2,218	ab	PC286	3,627	ab	PC287	7,371	bc
PC27	2,295	ab	PC192	3,675	ab	PC110	7,562	bc
PC196	2,331	ab	PC215	3,755	ab	PC164	7,718	bc
PC26	2,331	ab	PC341	3,788	ab	PC137	7,755	bc
PC181	2,468	ab	PC23	3,821	ab	CP4	7,863	bc
PC272	2,500	ab	PC75	3,942	ab	PC30	8,179	bc
PC52	2,524	ab	PC103	4,018	ab	CP6	8,271	bc
PC31	2,562	ab	PC74	4,053	ab	PC204	8,768	bc
PC174	2,598	ab	PC185	4,104	ab	PC352	8,859	bc
PC100	2,629	ab	PC208	4,152	ab	PC300	9,077	bc
PC104	2,645	ab	PC349	4,166	ab	PC248	9,612	bc
PC330	2,668	ab	PC37	4,179	ab	PC159	9,714	bc
PC229	2,680	ab	PC207	4,391	ab	PC138	10,314	bc
PC68	2,695	ab	PC141	4,494	ab	PC92	11,212	bc
PC205	2,697	ab	PC111	4,580	ab	PC105	11,622	c
PC210	2,714	ab	PC91	4,602	ab	PC167	11,894	cd
PC121	2,735	ab	PC211	4,606	ab	PC357	12,817	cd
PC135	2,749	ab	PC93	4,613	ab	PC56	13,654	cd
PC191	2,772	ab	PC117	4,638	ab	PC64	17,038	d
PC261	2,777	ab	PC176	4,834	ab	CD	21,053	d
PC94	2,855	ab	PC232	4,877	ab	SzD5%	5.2928	
PC86	2,868	ab	PL	4,889	ab			
PC48	2,870	ab	CP12	4,988	ab			
PC146	2,875	ab	PC145	5,004	ab			
PC59	2,891	ab	PC179	5,138	ab			
PC119	2,908	ab	PC199	5,225	ab			
PC43	2,916	ab	PC295	5,351	ab			

6. táblázat A víztartó képesség alakulása a'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció esetében. Az WRA (water retention ability) % után található eltérő betű statisztikailag szignifikánskülönbséget jelöl (SzD5%).

Genotípus	WRA%		Genotípus	WRA%		Genotípus	WRA%	
PC82	0,915	A	PC121	3,511	bc	PC332	5,380	bc
PC88	1,192	Ab	PC210	3,539	bc	PC331	5,439	bc
PC35	1,780	Ab	PC135	3,553	bc	PC120	5,544	c
PC237	1,900	Ab	PC104	3,569	bc	PC111	5,665	c
PC72	1,927	Ab	PC144	3,576	bc	PC93	5,987	cd
PC80	2,142	Ab	PC208	3,600	bc	PC84	5,988	cd
PC96	2,272	Ab	PC119	3,648	bc	PC137	6,128	cd
CP3	2,348	Ab	PC232	3,648	bc	PC56	6,167	cd
PC116	2,357	Ab	PC205	3,664	bc	PC107	6,339	cd
PC139	2,364	Ab	PC58	3,736	bc	PC352	6,367	cd
PC295	2,414	Ab	PC94	3,751	bc	PC92	6,807	cd
PC226	2,460	Ab	PC310	3,766	bc	PC113	6,811	cd
PC330	2,541	Ab	PC59	3,776	bc	PC30	6,884	cd
PC27	2,560	Ab	PC146	3,796	bc	PC287	7,185	cd
PC340	2,594	Ab	PC109	3,800	bc	PC322	7,202	cd
PC123	2,643	Ab	PC95	3,822	bc	CP4	7,321	cd
PC171	2,663	Ab	PC177	3,846	bc	PC292	7,359	cd
PC31	2,706	Ab	PC193	3,852	bc	PC162	7,462	cd
PC78	2,756	Ab	PC23	3,897	bc	PC89	7,670	cd
CP12	2,866	Ab	PC191	3,930	bc	PC81	7,677	cd
PC76	2,888	Ab	PC215	3,951	bc	PC183	7,771	cd
PC52	2,999	Ab	PC130	4,004	bc	PC158	8,017	d
CP7	3,004	Ab	PC68	4,010	bc	PC152	8,283	de
PC185	3,027	Ab	PC142	4,058	bc	PC350	8,307	de
PC149	3,080	Ab	PC86	4,141	bc	PC296	8,579	de
PC174	3,101	Ab	PC106	4,161	bc	PC164	8,764	de
PC32	3,104	Ab	PC211	4,194	bc	PC159	9,156	de
PC61	3,110	Ab	PL	4,218	bc	PC204	9,185	de
PC196	3,147	Ab	PC359	4,275	bc	PC167	9,564	de
PC192	3,187	Ab	PC147	4,325	bc	PC105	10,398	e
PC229	3,197	Ab	PC172	4,398	bc	PC110	11,484	ef
PC176	3,234	B	PC341	4,472	bc	PC138	11,998	ef
PC336	3,236	B	PC129	4,484	bc	PC248	13,472	f
PC43	3,241	Bc	PC37	4,520	bc	PC300	13,690	fg
PC181	3,248	Bc	PC75	4,565	bc	CP6	14,841	fg
PC133	3,250	Bc	PC207	4,574	bc	PC357	15,899	g
PC216	3,316	Bc	PC103	4,639	bc	PC64	18,311	h
PC67	3,321	Bc	PC286	4,656	bc	CD	33,730	i
PC100	3,333	Bc	PC179	5,012	bc	SzD5%	2,3063	
PC74	3,339	Bc	PC145	5,039	bc			
PC272	3,403	Bc	PC141	5,052	bc			
PC26	3,411	Bc	PC91	5,102	bc			
PC261	3,413	Bc	PC199	5,106	bc			
PC48	3,490	Bc	PC349	5,194	bc			
PC270	3,507	Bc	PC117	5,209	bc			

10.NYILATKOZAT

Alulírott Nagy Éva a Szent István Egyetem Mezőgazdaság-és Környezettudományi Kar Mezőgazdasági biotechnológus szak nappali tagozatos hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat a saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem.

Gödöllő, 2013. október 28.

.....
Hallgató aláírása