



## DIPLOMADOLGOZAT

**Készítette:**  
*Nagy Éva*

Gödöllő  
2013



**SZENT ISTVÁN EGYETEM  
MEZŐGAZDASÁG- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR  
MEZŐGAZDASÁGI BIOTECHNOLÓGUS SZAK**

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

**Készítette:**  
*Nagy Éva*

Gödöllő  
2013

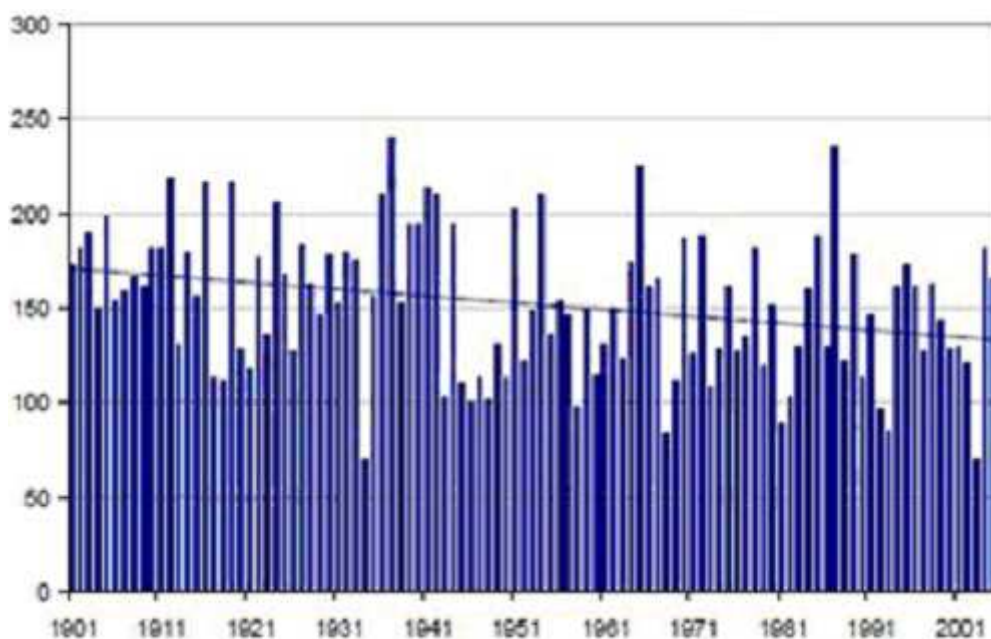
## Tartalomjegyzék

|      |                                                                                                          |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | BEVEZETÉS .....                                                                                          | 4  |
| 2.   | IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....                                                                                | 6  |
| 2.1. | A VÍZ JELENTŐSÉGE A NÖVÉNYEK ÉLETÉBEN .....                                                              | 6  |
| 2.2. | SZÁRAZSÁG STRESSZ .....                                                                                  | 7  |
| 2.3. | SZÁRAZSÁG STRESSZ MODELLEZÉSÉRE HASZNÁLT KÍSÉRLETI MEGKÖZELÍTÉSEK,<br>TESZTELÉSI MÓDSZEREK .....         | 10 |
| 2.4  | ŐSZI BÚZA SZÁRAZSÁGTŰRÉSRE TÖRTÉNŐ NEMESÍTÉSE .....                                                      | 12 |
| 2.5. | GENETIKAI TÉRKÉPEZÉS.....                                                                                | 13 |
| 2.5. | FENOTIPIZÁLÁS BÚZÁBAN.....                                                                               | 14 |
| 3.   | ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK .....                                                                               | 16 |
| 3.1. | A TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ LÉTREHOZÁSA (IN VITRO TECHNIKA) .....                                            | 16 |
| 3.2. | A FENOTIPIZÁLÁSI KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI.....                                                             | 16 |
| 3.3. | LEVÁGOTT LEVELEK VÍZTARTÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA.....                                                    | 17 |
| 3.4. | A TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ SZŰKÍTÉSÉNEK KÖRÜLMÉNYEI .....                                                   | 18 |
| 4.   | EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....                                                                          | 19 |
| 4.1. | A DH TÉRKÉPEZÉSI POPULÁCIÓ MÉRETÉNEK VIZSGÁLATA ÉS A POPULÁCIÓ<br>SZŰKÍTÉSE .....                        | 19 |
| 4.3. | LEVÁGOTT LEVELEK VÍZTARTÓ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A SZŰKÍTETT<br>SZÁRAZSÁGTŰRÉSI DH POPULÁCIÓBAN.....    | 29 |
| 5.   | KÖVETKEZTETÉSEK (MEGVITATÁS).....                                                                        | 32 |
| 5.1. | A 'PLAINSMAN V.'/CAPELLE DESPREZ' SZÁRAZSÁGTŰRÉSI DH POPULÁCIÓ<br>MÉRETE ÉS A SZŰKÍTÉSI KÍSÉRLETEK ..... | 32 |
| 5.2. | AZ ÜVEGHÁZI SZÁRAZSÁG MODELLKÍSÉRLET FENOTÍPUS ADATAINAK MEGVITATÁSA<br>33                               |    |
| 5.3  | A LEVÁGOTT LEVELEK VÍZVESZTŐ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA .....                                               | 34 |
| 6.   | ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                                                      | 38 |
| 7.   | KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....                                                                                 | 40 |
| 8.   | IRODALOM .....                                                                                           | 41 |
| 9.   | MELLÉKLET.....                                                                                           | 44 |
| 10.  | NYILATKOZAT .....                                                                                        | 1  |

# 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 eredményez.

Magyarország nem tartozik a szélsőségesen száraz területek közé, de a csapadék mennyisége évről-évre jelentősen eltérhet. A hazai viszonyokat figyelembe véve a 2003 aszályos év, valamint az azt követő csapadékos év között a gazdasági növényeink termésátlagai között jelentős eltérés mutatkozott. A csapadék mennyiségen kívül annak eloszlása is egyenlőtlenséget mutat. A gabonafélék fő vegetációs időszakában nyár elején gyakran tapasztalható csapadékhiány, illetve magas hőmérséklettel párosulva aszály. Ezekkel a körülményekkel egy időben a tavaszi csapadékmennyiség is csökkenő tendenciát mutat az elmúlt években (1. ábra). A csökkenő tendencia mellett (egyenes vonal az 1. ábrán) szembetűnő az évről évre jelentkező jelentős mennyiségi különbség. Egyes években pedig, fele annyi csapadék hullott, mint a rákövetkező évben vagy az előzőben.



**1. ábra. A tavaszi csapadékmennyiségek alakulása (1901-2009)**

(Országos Meteorológiai Szolgálat)

A fenti változásokból az következik, hogy a szárazság stresszel szemben ellenálló növények jelentősége egyre nagyobb, ezért olyan növények nemesítése a cél, amelyek bármely életszakaszban jól tűrik a csapadékhiányt, és a termésdepresszió a lehető legkisebb

mértékű. A szárazságtűrés hazai viszonyok között is a gabonafélék termésbiztonságának egyik meghatározó eleme.

A szárazságtűrés mennyiségi, azaz kvantitatív jelleg, melynek megnyilvánulását több gén együttesen befolyásolja, valamint 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 meghatározása a modern genetika egyik nagyjelentőségű kihívása. Egy genotípus vízhiányra adott válasza sok tényezőtől függ, ezért megbízhatóan toleráns genotípusok kialakítása nagy körütekintést 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.

#### **Diplomadolgozatom célkitűzései az alábbiak voltak:**

1. A 391 genotípusból álló 'Plainsman V.' (♀), 'Capelle Desprez' (♂) szárazságtűrés térképezési populáció méretének csökkentése kezelhető méretre (100-200 genotípus) fenotípusos eredmények alapján.
2. Fenotipizálás: a szűkített térképezési populáció vizsgálata üvegházi kísérletben. A szárazság stressz hatásának vizsgálata kontrolált körülmények között, különös figyelemmel a toleráns és fogékony genotípusra.
3. A szűkített térképezési populáción nemesítési munkák során 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). A víz általános életfeltétel, az élet elképzelhetetlen nélküle. 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 elektroneloszlás nem szimmetrikus, ennek következtében pozitív és negatív jellegű pólusa is van, mely meghatározza viselkedését elektromos töltésű részecskék környezetében. 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 kötött. 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 is (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 vakuolum víztartalma akár 98% is lehet (ÖRDÖG & LÁNG 2011). Az egész növény hidrosztatikusan összefüggő rendszert alkot, mivel a sejtfaalak is át vannak itatva vízzel. A vakuolumban lévő víz tartja fenn a sejt turgorát, ami a lágy szárú növények esetében a szár szilárdságot okozza. Turgeszcencia nélkül a növény nem képes növekedni. A vakuolumban lévő víztartalom változás az oka néhány növényi mozgásnak, többek között a sztóma nyitódásnak és záródásnak. A víz a leggyakoribb oldószer a növényben, de e-mellett számos egyéb szerepet is betölt. Befolyásolja a fehérjék, membránok, nukleinsavak és egyéb molekulák szerkezetét, részt vesz több esszenciális reakcióban. A fotoszintézis kiindulási anyaga. A növény egész élete során vízfelvétele és leadása folyamatos kell, hogy legyen (HESZKY 2007). A vizet és a

vízben oldott tápanyagokat a talaj szolgáltatja a növény számára. A növényi gyökérszőrők számára a talajban lévő gravitációs víz, talajvíz, de leginkább a kapilláris víz felvehető. A felvett vizet a növény eltérő utakon szállítja a földfeletti 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 hidrolikus nyomás mellett (DUDITS 2006). A vízhasznosítás növény fajoként és fajtáinként is eltérő mértékű (HESZKY 2012a). A növény minden gramm szárazanyag előállításához a gyökéren át nagyságrendileg 500g 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 sztomák nyitását zárását a növény szabályozni tudja, amely rugalmas alkalmazkodást tesz lehetővé a változó vízellátáshoz. Amikor a sztomazárósejtek 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 sztómanyitás. Vízesztés 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 sejtfolyamatokban (ÖRDÖG & LÁNG 2011).

## **2.2. Szárazság stressz**

A szárazság egy olyan periódusként definiálható, amely során az átlagosnál kevesebb a csapadék, ezáltal a növények termőképessége természetes vagy mezőgazdasági körülmények között csökken (BOYER 1982). Szűkebb értelemben akkor beszélünk szárazságról, ha a növény transzspirációja meghaladja a vízfelvételét (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. Magas só tartalom hatására a növény gyökerei nem képesek vizet fölvenni. A növény nem tud vizet fölvenni a talajból, abban az esetben amikor a gyökerek vízpotenciálja magasabb, mint a körülötte lévő talajé. Abban az esetben, 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 kiválthatja, legintenzívebb hatása a szárazság stressz folyamán érvényesül.

Kontrollált körülmények között nehezen modellezhető a hatása, mivel időtartama, megjelenésének ideje nagy változékonyságot mutat. Leghatékonyabban szántóföldi körülmények között vizsgálható. A szárazság stressz paraméterei évente eltérőek lehetnek. Ezek a következők, az aszály kezdete és időtartama, a levegő hőmérséklete, páratartalma, mozgása, 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, tenyészidő 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. A szárazságstressz viszont rendkívül változatos formákban mutatkozik meg. Az országon belül is nagy különbségek vannak. A közepesen aszályos területek mellett, aszálymentes, enyhén, mérsékelten erősen és nagyon erősen aszályos területek is találhatóak (HESZKY 2012a). Mivel Magyarország nem tartozik a szélsőségesen száraz területek közé ezért hazai körülmények között azt a növényt nevezzük szárazságtűrőnek, melyek az aszályos években is viszonylag nagy 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 Abszizinsav 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 gyökérmegújulás 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 bélégeknek. A levelek viaszoltága, 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 vissza tartani a működésükhöz szükséges vizet (Toldi & Jenes 2010). 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 (GUÓTH 2009). A vízhiányra történő reakció alapján három csoportot különböztethetünk meg. Ezek a következők: menekülők vagy al rezisztensek, 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 búzák kevesebbet párologtatnak (HAJÓSNÉ 2007). A vízvesztés tűró növények alkotják a harmadik csoportot. A vízvesztés sejtszinten a sejtmembránok

károsodását okozza, ennek mértéke azonban eltérő az egyes genotípusok esetén. A vízvesztést tolerálók sejtszinten is szárazságtűrőek. Az ozmoregulációjuk révén fenntartják a sejtek ozmotikus nyomását, turgorát, valamint a végsőkig 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). Ez abból következik, hogy a növények vízigénye életszakaszonként jelentős eltéréseket mutat. Az életfolyamatok közül a növekedés az, amely a legérzékenyebb a vízhiánnyal szemben. A búza esetén a három napnál nem idősebb csíranövények kiszáradás tűrőek, 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. A szárazságtűrés bizonyos részjelenségeinek modellezésére számos általánosan elfogadott módszer létezik, azonban komplexen csak különböző termőterületeken végzett szántóföldi kísérletek során vizsgálható. A korai fejlődési fázisokban megjelenő stressz hatások nagyban befolyásolják a termőképességet, az ilyenkor fellépő vízhiány hatásai és az okozott károsodás mértékének tanulmányozása szintén kulcsfontosságú. Ebből következik, hogy a több fejlődési fázisban elvégzett vizsgálatok szolgáltatnak átfogó képet a stressz tűrésről (SZIRA 2010).

A csíráztatás és nevelés ozmotikumban (poli-etilén-glikol, mannitol) élettani és molekuláris vizsgálatokhoz gyakran használt módszer, mely jól ismételhető és egyszerűen kivitelezhető (KOCSY ET AL 2004). Gyakorlati hasznáról és a szántóföldi körülmények között mért eredményekkel való összevethetőségéről megoszlanak a vélemények (CSEUZ 1990).

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 fokozása. 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 szinte lehetetlen, a különböző fenofázisban lévő növények tápanyag mobilizációs képességeinek összehasonlítására egy közvetett módszerrel azonban közel azonos eredményt kaphatunk. Ez a módszer a kémiai deszikáció

A kémiai deszikáció a termésképzés szempontjából kiemelkedő fontosságú tápanyag mobilizációs képesség vizsgálatára alkalmas módszer (ROYO & BLANCO 1998). A virágzást követően a kémiai szerek alkalmazásával történő deszikkálás 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 víztelítettségi víztartalom százalékával, a víz energiaállapotát pedig a vízpotenciállal fejezhetjük ki.

A talajban végzett, cserepes, vízelvonást alkalmazó kísérletek hasonlítanak a legjobban a természetes szárazság stresszhez, ez esetben 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.

A levágott zászlóslevelek vízvesztő képességének mérése igen gyors és jól alkalmazható módszer. A levágott levelekben a gyors turgorváltozás miatt a sztómák bezáródnak, így a vízvesztést csak a bőrszövet minősége befolyásolja. A vizsgálatok bármely fenofázisban elvégezhetőek, gyors eredményt szolgáltatnak. (CSEUZ 2009)

## 2.4 Őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítése

A növénynemesítés egyik legnagyobb mai kihívása az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia kialakítása. Ez a nemesítés egyik legnehezebb területe, viszont a klíma változás kapcsán a jelentősége egyre nagyobb. Napjainkban az abiotikus stresszek a legnagyobb korlátozói a termés mennyiség növelésének. A 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, ennél fogva az élettelen környezeti tényezőkkel szembeni tolerancia igen sok géntől függ. (Cseuz&Matuz 2010)

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 hozamot előállító fajta létrehozása.

A szárazság tolerancia őszi búza esetén egy rendkívül értékes tulajdonság. Az e tulajdonságra történő nemesítést nehezíti, hogy sok a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyeg hatása termés csökkentő lehet. 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 2002).

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 csapadékmennyisége 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 szemetelítődést, mivel a fotoszintézis a nagy ozmoreguláció hatására a kalászban történik legtovább (MORGAN1984, BLUM1988). A szárazságtoleráns búza ideális esetben kiterjedt és mélyreható gyökérzettel, 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 kalászosítás és érés (HOFFMANN ET AL 2006).

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 számunka ismeretlen gének hatása alakítja ki. Ezeknek a géneknek az izolálása, szekvenálása, funkcionális elemzése nyújt lehetőséget a tulajdonságot meghatározó gén 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 monogén vagy poligén – e. A monogén tulajdonságok kialakításáért egy gén felelős, melyek térképezését közel izogén vonalak vizsgálatával végzik. A poligén tulajdonságok kialakítását több gén együttesen végzi. Ezek a gének nem csak a tulajdonság kialakításában vesznek részt, hanem kölcsönhatásban is állnak egymással. Az egyes gének szerepe additív és eltérő mértékben járul hozzá a fenotípus kialakításához.

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

A QTL-eket molekuláris markerek segítségével térképezési populációk törzseiben vizsgálhatjuk. Térképezés során meghatározható, hogy az adott 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 kvantitativ poligén 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, polimorf genetikai markerek, illetve a térképezési populáció genetikai szerkezete. A fenotípus tükrözi a QTL allélokat, valamint a fenotípust kialakító környezeti hatásokat (KISS 2005).

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 genomszekvenciájának ismerete nélkül, a rekombinációs gyakoriság alapján 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. Egy tulajdonság térképezéséhez olyan kiindulási szülőket kell választanunk, melyek genetikailag plimorfak, illetve a térképezni kívánt tulajdonságban eltérőek legyenek. Fontos hogy a szülői genotípusok között ne legyen túl nagy az eltérés, mert rekombinációs zavarok léphetnek föl, valamint ne legyenek túl kicsi, mert akkor kevés polimorfizmust kapunk (GALIBA&TÓTH 2006). A térképezési populáció szerkezete az egyedi QTL-ek hasadási viszonyai mellett, a rekombinációs lehetőségeket is meghatározza (KISS 2005).

## **2.5. Fenotipizálás búzában**

A kutatók számos különböző megközelítést alkalmaznak annak érdekében, hogy a szárazságstressz mint komplex hatás természetét megértsék. A vizsgálatok a következő rendszerekben végezhetőek: kémiai úton az ozmotikus egyensúly manipulálása vízkultúrák rendszerekben, üvegházakban digitálisan vezérelhető öntözőrendszer kialakítása mellett, valamint esőárnyékoló berendezések használatával szántóföldön (Cobb et.al. 2013). A fenotipizálás elvégezhető szabályozott körülmények között üvegházban, valamint szántóföldi kísérletek beállítása során.

A szárazságtűrés mértékének meghatározására a következő paramétereket szokták vizsgálni: a gyökerek felépítése, a hajtások viselkedése stressz alatt, illetve a növényben lévő víz státusz spektrális képe.

Növénymagasság: egy megfelelő tulajdonság a szárazság tűrés modellezésére.

### 3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

#### 3.1. A térképezési populáció létrehozása (in vitro technika)

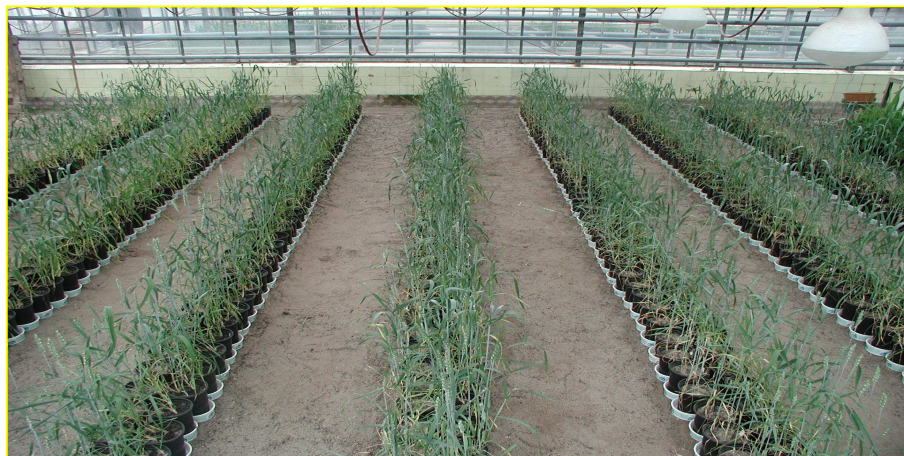
A térképezési populáció létrehozása az amerikai származású Plainsman V, közismerten szárazságtűrő búzafajta, valamint a szárazságra érzékeny francia származású Capelle Desprez fajta keresztezésével történt. Anyaként a Plainsman fajta szerepelt, mivel ez szálkás fajta, míg az apának használt Capelle Desprez tar kalászu. Az F1 növények populációjából a további vizsgálatokhoz csak hibrid növények (tar kalászu F1 növények) és azok utódai lettek felhasználva.

A hasadó F2 populációból a tiszta vonalak (homozigóta) létrehozása portoktenyésztet alkalmazásával történt. Az F2 növények hajtásai akkor kerültek begyűjtésre, amikor a portokban lévő mikrosporák egysejtes vakuolumos állapotban voltak. A hajtásokról a zászlóslevélen kívül minden levél el lett távolítva, majd ezt két hét 3-4 °C hőmérsékleten történő hideg kezelés követte (LANTOS ET AL 2006).

A hideg előkezelést követően a kalászokat 20 percig sterilizálták 2% nátrium hipoklorit oldatban 2-3 csepp Tween 20 oldat jelenlétében, majd steril vízzel leöblítették. A portokok izolálása macerálás módszerével történt. A portokok Petri-csészébe kerültek.

Ezt inkubáció követi, 32°C állandó hőmérsékleten megvilágítás nélkül. A fejlődő embriók regeneráló táptalajra kerültek. A zöld növénykének néhány leveles korban üveg csőbe kerültek, ami szintén regeneráló táptalajt tartalmaz. Két- három héttel később a gyökeresedett növények az üvegházba lettek kiültetve. A kiültetést követő akklimatizáció ideje alatt polietilén tasakkal lettek letakarva. (LANTOS 2009) (PAUK ET AL. 2003)

#### 3.2. A fenotipizálási kísérletek körülményei



## 2.ábra Üvegházi kísérlet körülményei

### 3.3. Levágott levelek víztartókéességének vizsgálata

A levágott levél víztartása fontos tulajdonság a szárazság tűrésben. Ezért ennek a tulajdonságnak a vizsgálatával képet kaphatunk a genotípusok szárazságtűréséről.

A kísérlet során genotípusonként 3-3 sérülésektől és betegségtől mentes zászlóslevelet gyűjtöttünk be a kora reggeli órákban. A zászlóslevelet a levél alap 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 deszikált 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 (relative water content RWC1= relative water content) (CSEUZ 2009). A deszikált levelek tömegéből és a száraz tömegből a deszikált levelek relatív víztartalmát (RWC2) határoztuk meg. A víztartó képességet (WRA=water retention ability) a friss levelek relatív víztartalmának százalékában fejeztük ki.

$$RWC1=(FM1-DM)/(TM-DM)*100$$

$$RWC2=(FM2-DM)/(TM-DM)*100$$

$$WRA= RWC2/RWC1 *100$$

A kísérletet 137 genotípuson végeztük el, kontrollként a szülőket 3 ismétlésben mértük. A kísérlet időpontja 2013. május 15. A mérést a bokrosodás fenofázisa után végeztük el.

### 3.4. A térképezési populáció szűkítésének körülményei



3. ábra



4. ábra

## **4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK**

A 'Plaisman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció hasadó F2 nemzedékéből a genetikailag tiszta vonalak (homozigóta), portoktenyészet felhasználásával születtek. A kísérletben 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, ezerszem tömeg adatok alapján végeztem el, úgy hogy a tulajdonságok normál eloszlása, a szűkített populációban ne változzon meg.

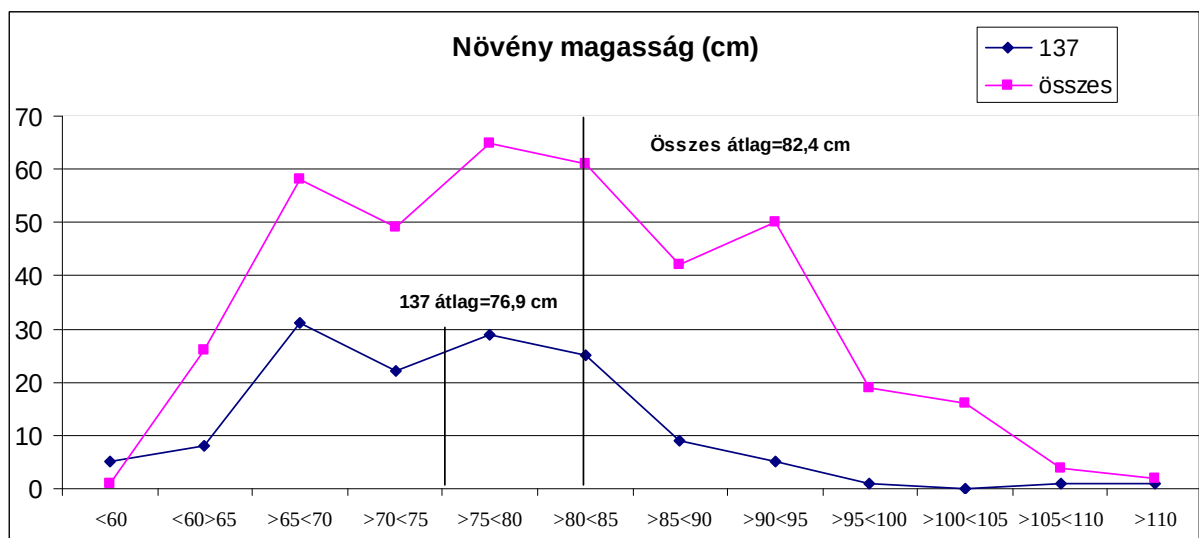
A fenotípus eredmények összegzése után, az első fontos feladatunk az volt, hogy a populáció méretet lecsökkentsük, könnyen kezelhető és a genetikai kutatáshoz megfelelő populáció méretre. Az irodalmi adatok alapján a térképezési munkához 100-200 közötti populációméret elégséges, a fenotipizálási eredmények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

A DH őszi búza térképezési populáció méretének csökkentésekor a növénymagasság meghatározó tulajdonság volt. A növénymagasság fontos szerepet tölt be a szárazságtűrésben, lévén a magasabb növényeknek általában a gyökérzetük is nagyobb, mélyebbre hatoló. Ezért a szárazságban történő túlélésük általában jobb. Viszont a magas szárral rendelkező búzanövény 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 (5. ábra) és ezzel fals eredményeket okozhat. A bemutatott ábrán, ez szemléletesen látszik.



**5. 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 populációszűkítés célja az volt, hogy az egy méternél magasabb szárú genotípusokat kiszűrjük. A 6. ábrán látható, hogy ezt az elképzelést sikerült megvalósítani. A szűkített populációban összesen kettő olyan genotípus maradt, amely magasabb egy méternél. A teljes populáció átlagmagassága 82,4 cm, míg a szűkített populáció átlagmagassága 76,9 cm.



**6. ábra. A növénymagasság megoszlási görbéje a teljes (391 független DH törzs) és szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban**

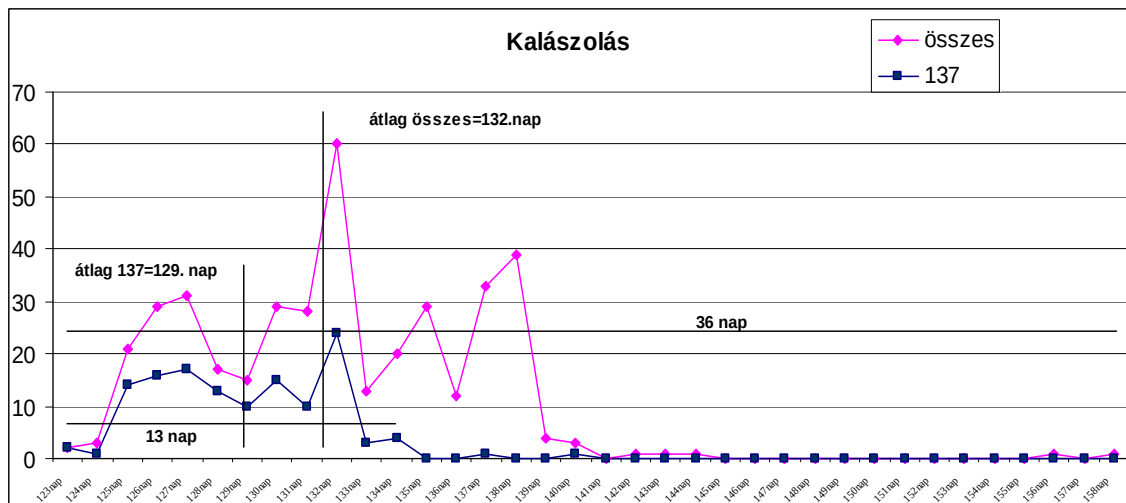
Ezek az átlag adatok is mutatják, hogy a magas genotípusokat sikeresen kiszűrtük, úgy hogy a populációt jellemző megoszlási görbe nem változott meg.

A DH térképezési populáció szűkítése szempontjából a következő fontos tulajdonság a kalászosodási idő volt. Egyes szakirodalmak szerint, a korai kalászosodás előny a szárazság tolerancia kialakulásában. A korai növények esetében azonban nagy valószínűséggel menekülésről van szó, mert a termésérésük befejeződik az aszályos időszak beköszöntéig. A kalászosodási idő, populációméret szűkítésénél az volt a cél, hogy a kiválasztott genotípusok lehetőleg minél korábban és egymáshoz képest viszonylag közeli időben kalászosodjanak. A 391 genotípus elsőként és utolsóként kalászosodó növényei között 36 nap telt el (7. ábra). Ez a növények összehasonlítása szempontjából nem optimális, mert annyira más fenofázisba érik a genotípusokat az időjárási változások, hogy a teljesítményüket ez alapvetően befolyásolja.



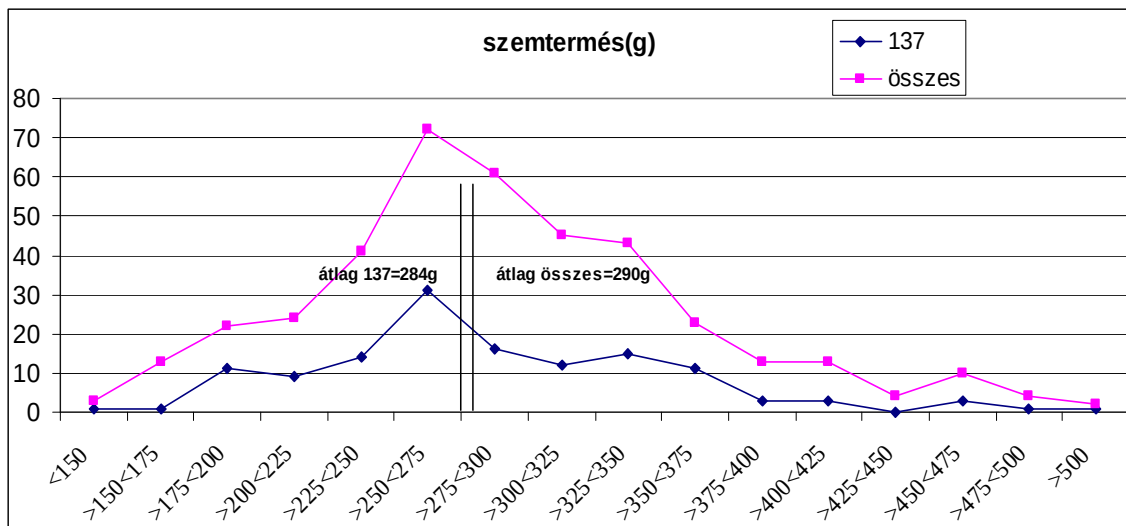
**7. ábra. A vizsgált térképezési populáció kalászosodás utáni (a) és érésbeli (b) képe a tenyészkertben. A baloldali képen (a) különösen jól látható a genotípusok közötti igen jelentős kalászosodási eltérés. A zöld parcellák lényegesen későbbiek, mint a sárgulók. Érésbeli (b) a különbség már nem ennyire szembevető.**

A 8. ábrán jól látható, hogy a szűkített populációba tartozó genotípusok között a kalászosodási idő eltérés lényegesen kisebb. Az adatokból látható 13 nap, azaz harmada a kiindulási populáció kalászosodási idő amplitúdójának. Két genotípus kalászosodási 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 kalászosodott, míg a szűkített 129. napon, a populációátlagok alapján.



**8. ábra. A kalászolási idő megoszlási gyakoriságának grafikonja a teljes (391 független DH törzs) és szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban.**

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 9. ábra alapján elmondható, hogy célunkat sikerült tartani, mivel a 391-, illetve a 137 genotípusból álló populáció szemtermés eloszlási görbéje teljesen hasonló egymáshoz (9. 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 (9. ábra). Az átlagos szemtermés a teljes populációt nézve 290g volt, a szűkítettre nézve pedig 284 g volt. A szűkített és a teljes populáció ezerszem tömegeinek átlag adata pedig, teljesen megegyezik, mindkét populációban 39g volt (részletes adat itt nincs közölve).



**9. ábra. A genotípusonkénti (DH törzsek) szemtermés alakulása a teljes (391 független DH törzs) és szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban.**

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, 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.

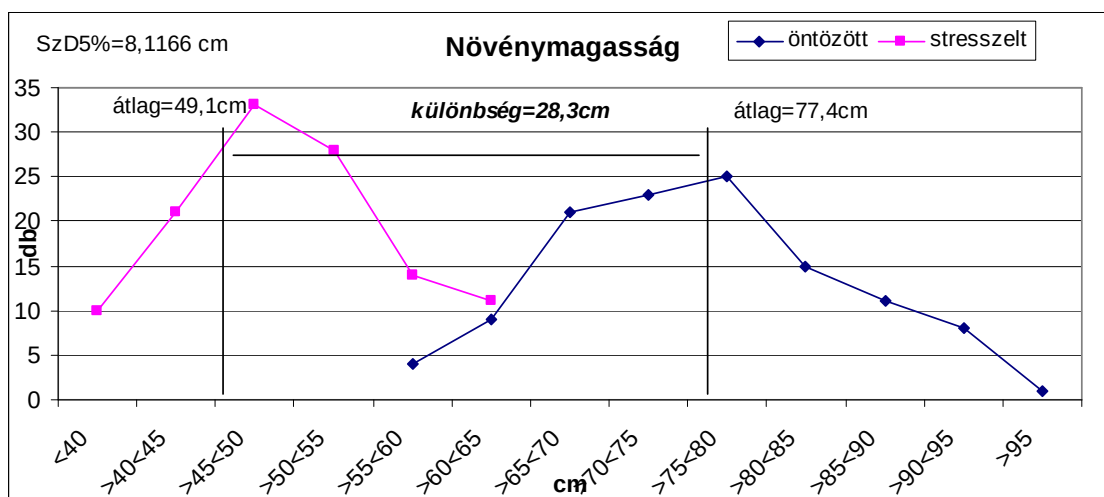
A növénymagasságot a talajszinttől, a kalász csúcsáig cm-ben mértük. Az optimálisan öntözött növények magasságát (kontroll) összevetettük a folyamatos vízmegvonás alatt nevelt növények magasságával (stressz hatás). Az optimálisan öntözött és a folyamatos vízmegvonásnak kitett növények magasságában jelentős különbségek mutatkoztak meg (10. ábra).



**10. 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.**

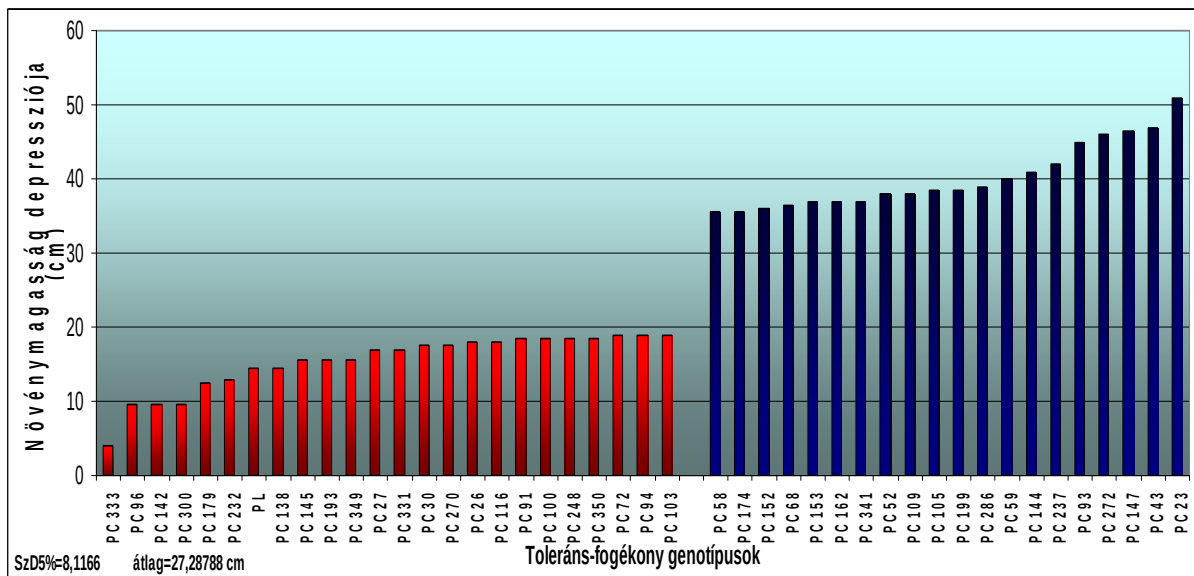
Ez a hatás a 10. ábrán jól megfigyelhető. A szárazság stresszel sújtott növények jóval alacsonyabbak voltak.

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 11. 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.



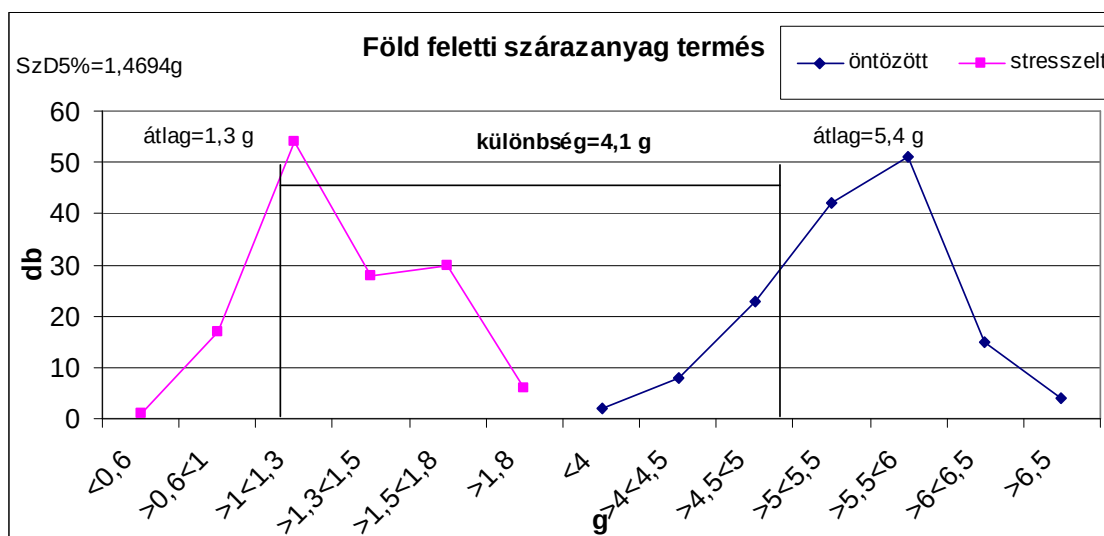
**11. ábra. A növénymagasság alakulása a szűkített térképezési populációban optimálisan öntözött és folyamatos vízmegvonás mellett.**

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.



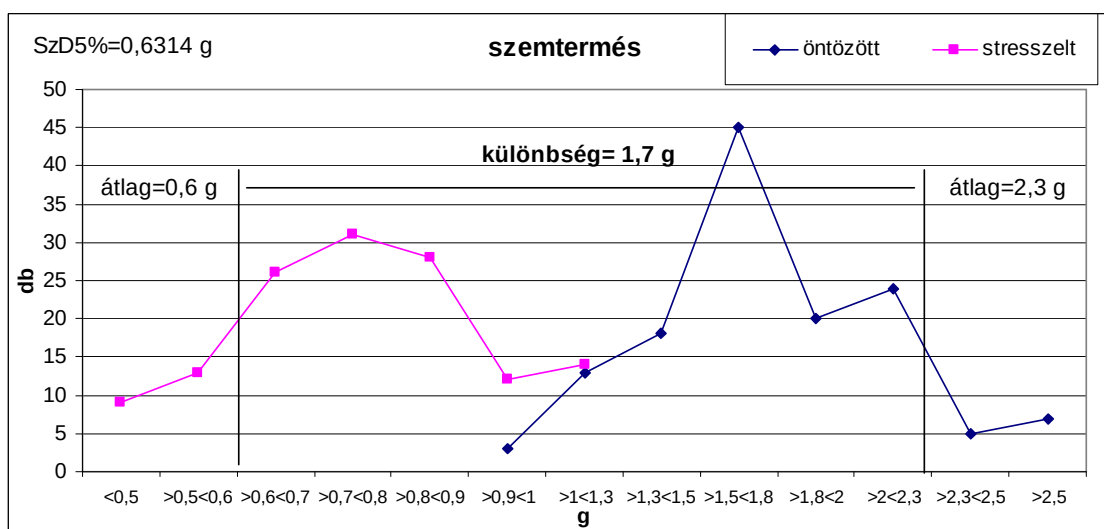
**12. ábra. A növénymagasság csökkenése alapján kialakított toleráns és fogékony genotípusok csoportja. A toleránsak piros színnel, fogékonyak kék színnel vannak jelölve.**

A föld feletti száraztömeg alatt a teljes növényi részt mértünk, amit szárító szekrényben szárítottunk és a mennyiségi értéket grammban fejeztük ki. A 13. 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' szőlőfajtánál figyelhető meg, 2,09g. A legnagyobb tömegvesztése a PC 210-nek volt, összesen 5,505g-mal lett kisebb a tömege a stressz hatására (Melléklet 2. táblázat). A 13. 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.



**13. ábra. A föld feletti szárazanyagtermés alakulása a szűkített térképezési populációban, öntözött és folyamatos vízmegvonási körülmények között.**

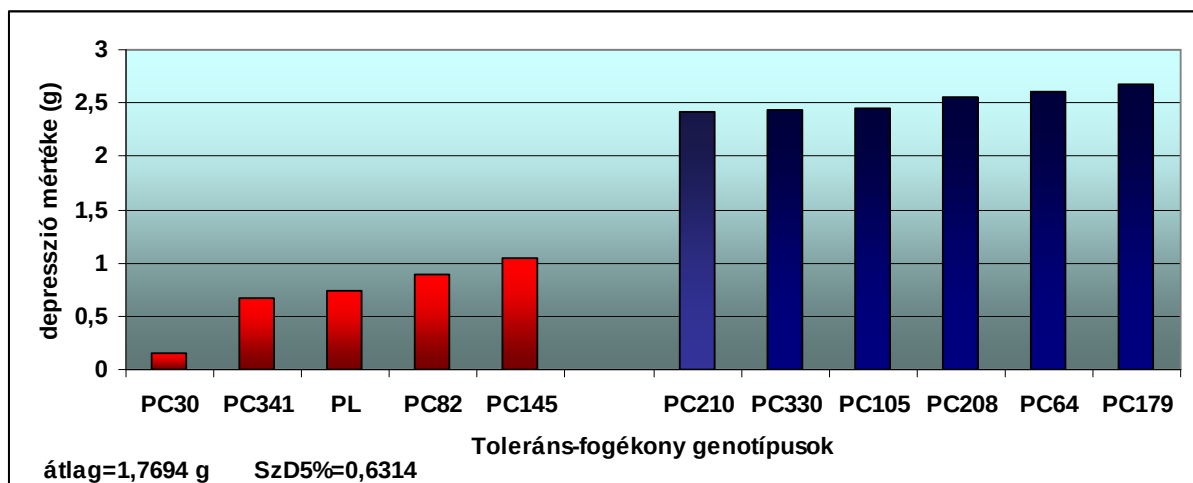
A szemtermés mennyisége a búza esetében kiemelkedően fontos tulajdonság, hiszen a gazdaságosság egyik kulcsa a termésmennyiség. Ez esetben is egyedenkénti száraz termést mértünk, amit grammban fejeztünk ki. A 12. ábrán megfigyelhető a szemtermés alakulása, az alkalmazott két kezelés hatására. Jól látható, hogy a stressz hatására az átlagtermés jelentős mértékben csökkent, hasonlóan, mint azt az előző két tulajdonságnál is láttunk. A különbség statisztikailag is bizonyítható volt (SzD=5%).



**14. ábra. A szemtermés alakulása a szűkített térképezési populációban, öntözött és folyamatos vízmegvonás 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 15. 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 tekinthetők a szárazság hatására. A 15. ábrán megfigyelhető, hogy a toleráns, valamint a fogékony genotípusok között meglehetősen nagy a különbség a szemtermés depressziójának mértékében.



**15. 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. Fogékonyak a PC 105 genotípus. Az eredmények tükrözik, hogy a szárazságtűrés komplex tulajdonság, ezért nehéz olyan genotípust találni, amely minden vizsgálat tulajdonságra toleránsnak mondható.

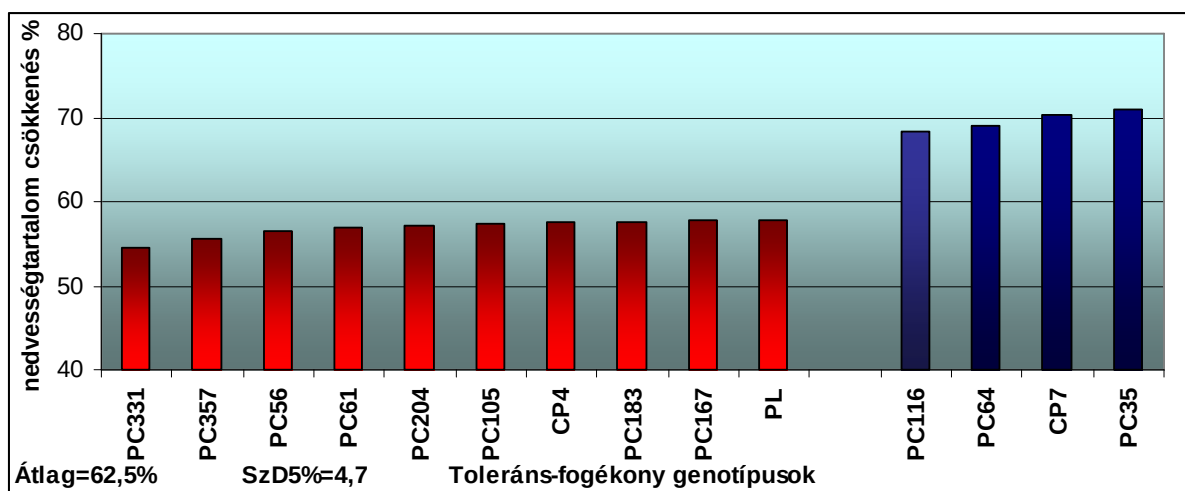
### **4.3. Levágott levelek víztartó képességének vizsgálata a szűkített szárazságtűrési DH populációban**

Mivel az irodalmi adatok alapján, a szárazságtűrés 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 sztómák 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 veszített kevesebb vizet. Ezek a következők, PC331, PC357, PC56, PC61, PC204, PC105, CP4, PC183, PC167, Plainsman. Ezeket a genotípusokat toleránsnak tekinthetjük és adataikkal együtt a 16. ábrán gyűjtöttem össze. Az átlaghoz képest szignifikánsan több vizet 4 genotípus veszített. Ezek voltak a PC116, PC64 és a CP7, valamint a PC35-ös genotípus (16. ábra). Ez a négy genotípus fogékonnak tekinthető a vizsgált tulajdonság (vízvesztés) alapján.



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

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 deszikált 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 deszikált 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 veszítettek. A deszikálást követő relatív víztartalom 0,8-21% között alakult, ebből látszik, hogy a levelek a víztartalmuk több mint 80 %-át elveszítették. A 3. táblázatban látható, hogy a 128 genotípus között jelentős eltérések mutatkoztak meg, mind a kezdeti víztartalom, mind a vízvesztés tekintetében.

**3. táblázat. Levágott zászlóslevelek kezdeti és deszikált relatív víztartalma és víztartó képessége**

|                                 | <b>RWC I</b> | <b>RWC II</b> | <b>WRA</b> |
|---------------------------------|--------------|---------------|------------|
| <b>Átlag</b>                    | 80,86        | 14,74         | 5,51       |
| <b>Várható érték</b>            | 80,79        | 4,86          | 5,42       |
| <b>Standard hiba</b>            | 0,69         | 0,30          | 0,40       |
| <b>Szórás</b>                   | 7,89         | 3,40          | 4,56       |
| <b>Minta varianciája</b>        | 62,32        | 11,57         | 20,76      |
| <b>Csúcsosság</b>               | 2,63         | 6,65          | 20,74      |
| <b>Minimum</b>                  | 60,81        | 0,83          | 0,92       |
| <b>Maximum</b>                  | 116,62       | 21,05         | 33,73      |
| <b>Darabszám</b>                | 128          | 128           | 128        |
| <b>Konfidenciaszint (95,0%)</b> | 1,36         | 0,59          | 0,79       |

**RWC I** a kezdeti relatív víztartalom

**RWC II** a szárított relatív víztartalom

**WRA**= RWC II/ RWC I \*100

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK (MEGVITATÁS)

A növényeket sújtó szárazság, vagy vízhiány, rendkívül összetett hatás. Térben és időben évről évre egyre több cikk jelenik meg világszerte az abiotikus stresszhatásról (Bray 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, Bhatnagar-Mathur et al 2007, Cattivelli et al 2008 Hervé& Serraj 2009, Mir et al 2012,) eredményeknek szintén jelentős a felfutása, ill. magas az idézettsége. A 'Plainsman V./Capelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció fenotipizálási eredményei, eddigi eredményeink 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 szükségességét a szakirodalmak is megerősítették, a genetikai térképezésre használt populációk átlagos mérete 100-200 genotípus méretű. Maphosa és munkatársai (2013) a 368 genotípusból álló búza térképezési populációból genotipizálásra 192 genotípust használtak föl, Lopes és munkatársai (2013) 165 genotípusból álló búza populáción végeztek térképezési munkákat, Teulat et al (2001) munkájuk során a két szülővel együtt 189 búza 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. Borrelli 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 2006). Magyarországon az évi csapadékmennyiség egyenlőtlen eloszlása miatt a túlzottan magas növények megdőlhethetnek, 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 jelentkezésétől (erősségétől, időtartamától, jelentkezésének időpontjától) függően, a növény számára előnyt jelenthet a korai kalászás 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 genotípizálás során, könnyen kalászolási idővel kapcsolatos összefüggéseket találunk majd, amit szeretnénk elkerülni. Igyekeztünk a populációban a korai és közepes kalászolási idővel rendelkező DH genotípusokat kiválasztani.

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 csökkenti (Cseuz 2009) termését. 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.

## **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 genotípizálási 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 és munkatársai (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.

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 (Cseuz2009). 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 deszikáció túlzott mértékű volt, a deszikált 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 desszikálást kell alkalmaznunk. Tehát a most alkalmazott protokollunkat meg kell változtatni.

#### **5.4 A szárazságtűrési fenotipizálási kísérletek eddigi eredményeinek gyakorlati összefoglalása**

A szárazság tűrés 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' szárazságtűrési 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 fogékonyosság, 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 4. táblázatban azokat a genotípusokat tüntettem föl, amelyek legalább két tulajdonság esetén fogékonnak (kék színnel) vagy toleránsnak (piros színnel) bizonyultak.

A 4. 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. Reményeink szerint a másik három (PC30, PC145, PC 331) genotípus, ennek a szülőnek a genetikai hátterét örökölte. A 17. ábrán megfigyelhetjük a toleráns genotípusok kalászeit, 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.

**4. táblázat A toleránsnak (piros színnel), illetve fogékornak (kék színnel) ítélt genotípusok agronómiai szempontból fontos tulajdonságai**

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



**17. ábra. A szárazságtűréssel szemben – a vizsgált tulajdonságok alapján - toleránsnak talált DH genotípusok kalászáinak képe**

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 természsökkenő tényező. Magyarországon a csapadékeloszlásban évről-évre nagy különbségek mutatkoznak, a gabonafélék vegetációs periódusának végén tapasztalható szárazság mellett a tavaszi csapadékhiány is egyre gyakoribb.

A szárazságtűrés komplex tulajdonság, amelynek kialakításában számos gén játszik szerepet. Mind ettől függetlenül, a szárazságtűrést, a környezeti tényezők is alapvetően befolyásolják. A szépszámú alap és alkalmazott kutatási eredmény ellenére a jelleg genetikai és élettani háttere még nem teljesen ismert. 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 szárazságtűrési genetikai kutatásba kapcsolódtam be. A vizsgálatokhoz alkalmas térképezési populáció fenotipizálási kutatásainak egy részét végeztem el, aminek eredményeit dolgozatomban foglaltam össze. A precíz fenotipizálás elvégzésére azért van szükség, mert a további kutatásokhoz (genotipizálás) nélkülözhetetlenek a fenotipusos 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 feladatomban az volt, hogy a populáció méretet lecsökkensem, könnyen kezelhető méretre (kb. 100-150 pop. méretre). Arra törekedtünk, hogy a populációban a szűkítés ne okozzon megoszlásbeli összetételben eltérést. A méret szűkítést a növénymagasság, kalászoslási idő, termésmennyiség, ezer szem tömeg adatok alapján végeztem el, úgy hogy a tulajdonságok eloszlása, a szűkített populációban ne változzon meg. Jelenleg a szűkített térképezési populáció 137 DH törzsből áll. A szárazságtűrési 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 toleráns csoportba sorolt genotípusok legalább két vizsgált tulajdonság tekintetében ellenállónak bizonyultak (PC30, PC145 szemtermés, növénymagasság depresszió, PC331 növénymagasság, levágott levél vízvesztés tesztje). A toleráns genotípusok között diverzitás figyelhető meg. A fogékony genotípusok a PC64, PC105. A kísérleteim eredményeképpen elkülönített fogékony és toleráns genotípusok, a későbbi kutatásban hasznosak lehetnek.

## **7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Ezúton szeretném megköszönni mindazoknak, akik segítséget nyújtottak 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

- BLUM A., SHPILER L., GOLAN G., MAYER J., SINMENA (1991): Mass selection of wheat
- BLUM, A. (1988): Drought resistance. In: Plant breeding for environmental stresses. Blum, A.(ed), C.R.C. Press Boca Raton, Florida, 43-77.
- BRAY, ELIZABETH A. JULIA BALEY-SERRES, ELIZABETH WERETILNYK Responses to Abiotic Stresses Biochemistry & Molecular Biology of plants Buchanan, Grissem, Jones 2000 USA 1158-1177p
- COBB J. N., A. GREENBERG, G. DECLERK, R. CLARK, S. MCCOUCH (2013) Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype-phenotype relationships and its relevance to crop improvement. Springer 126:867-887
- Crops Research*, (59) 201-212. p.
- CSEUZ LÁSZLÓ, 2009: A szárazságtűrő őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nemesítésének lehetőségei és korlátai, Doktori értekezés, Gödöllő 125.p
- DUDITS DÉNES 2006 A Vízhány okozta stresszválaszok molekuláris háttere átprogramozott anyagcsere A Búza nemesítésének Tudománya A funkcionális genomikától a vetőmagig Szerk Dudits Dénes Szeged 2006 117 p
- FARRANT J. M., BAILLYC., LEYMARIE J., HAMMAN B., COME D. AND CORBINEAU F. (2004) Wheat seedlings as a model to understand desiccation tolerance and sensitivity. *Physiologia Plantarum* 120 (4) 563-574
- for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica*, (54) 111-116. p.
- FORGÓNÉ GUÓTH ADRIENN 2009 Búza fajták szárazságtűrésének élettani indikátorai Doktori Ph. D. értekezés Szeged
- HAJÓSNÉ NOVÁK MÁRTA 2007 A növény nemesítés alapjai Gödöllő 82-86
- HESZKY L. 2007: Szárazságtűrés és a növény kapcsolata Agroforum (2007).18.évf.11./M.szám 36-40.
- HESZKY L. 2008 : Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? Agro napló (2008) március 38-39.
- HESZKY LÁSZLÓ 2012 Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? Agroforum 2012. november
- HOFFMANN B., ARANYI N., HOFFMANN S., MOLNÁR-LÁNG M., 2009 Possibilities to increase stress tolerance of wheat VIII. Alps-Adria Scientific Workshop Neum, Bosnia-Herzegovina 93-96 p
- HOFFMANN BORBÁLA, CSEUZ LÁSZLÓ, PAUK JÁNOS Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai, 2006 Szeged A búza nemesítésének tudománya a funkcionális genomikától a vetőmagig Szerk Dudits Dénes 191-217 p.
- hydroxymethylglutathione accumulation in wheat. *Journal of Plant Physiology*, (161) 785-794. p.
- ISLAM, T.M. SEDGELY, R.H. (1981): Evidence for 'unicum' effect in spring wheat (*Triticum aestivum* L) in Mediterranean environment. *Euphytica*, 30: 277-282
- KISS E. (2005) Genom analízis, funkcionális genomika In Mezőgazdasági biotechnológia szerk: Heszky L., FÉSŰS L., HORNOK L. 2005 Agroinform kiadó 211-220.p.
- KOCSY G., SZALAI G., GALIBA G. (2004): Effect of osmotic stress on glutathione and
- 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 CSABA, 2009: Az in vitro androgenezis indukciója búzában (*Triticum aestivum* L.), tritikálében (*X Triticosecale Wittmack*), Fűszerpaprikában (*Capsicum annum* L.) és az eredmények felhasználása a nemesítésben, Doktori értekezés, Gödöllő, 108.p
- LEVITT, J.(1980): Response of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, London. 697 p.
- 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: 283-286
- MORGAN, J.M.(1984): Osmoregulation and water stress in higher plants. Annu Rev Plant Physiol,35:299-315
- NIEDZWIEDZ-SIEGIEN I.,BOGATEK-LESZCZYNSKA R., COME D. AND 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, 879-888
- ÖRDÖG VINCE, LÁNG ZOLTÁN, 2011, Növényélettán, Debreceni Egyetem, Nyugat Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem
- PASSIOURA J.B.(1996): Drought and drought tolerance. Plant Growth Regulation, (20) 79-83. p.
- PAUK J.,MIHÁLY R.,PUOLIMATKA M.,2003:Protocol of wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture.59-64.p. In: MALUSZYNSKI M, KASHAK. J.,FROSTER B. P.,SZAREJKO I.(szerk): Doubled Haploid Production in Crop Plants,a manual, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.428.p.
- PETHŐ MENYHÉRT (1998) A növényélettán alapjai Akadémiai kiadó 44-58p.
- ROYO C., BLANCO R.(1998): Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticales. *Field*
- SZABÓ-HEVÉR ÁGNES A kalászfuzárium rezisztencia molekuláris hátterének vizsgálata a Frontana eredetű térképező búzapopulációkban Doktori értekezés 2013 Gödöllő
- SZIRA FRUZSINA Árpa szárazságtűrését befolyásoló lókuszok azonosítása és marker alapú szelekcióra való alkalmasságuk vizsgálata Doktori értekezés 2010 Gödöllő
- Toldi O.,Jenes B.(2000): Génekkal a stressz ellen, Aszály ellen védekező növények, Élet és Tudomány, 33. szám Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont
- TÓTH SÁNDOR A *Craterostigma plantagineum* Hochst. és a *Ramonda myconi* Reichb., mint a kiszáradástűrés tanulmányozásában fontos modellnövények, szövettanésztsége és genetikai transzformációja Doktori (PhD) értekezés Gödöllő, 2009
- VENORA,D., CALCAGNO F.(1991): Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. On drought adaptation. Cereal Research Communication, 19 (3): 319-327
- BHATNAGAR-MATHUR, VADEZ V.,SHARMA K. KIRAN 2008 Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants : retrospect and prospects Plant Cell Rep 27:411-424
- Hervé P., Serraj R 2009 Gene technology and drought: A simple solution for a complex trait? African Journal of Biotechnology Vol 8 (9) pp1740-1749
- 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 Theor Appl Genet 125:625-645
- Cattivelli L, Rizza F.,Badeck F-W.,Mazzucotelli E., Mastrangelo M.A., Francia 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: 1-14

- Zhang J., Hao C., Ren Q., Chang X., Liu G., Jing R. 2011 Association mapping of dynamic developmental plant height in common wheat *Planta* 234:891-902
- Chaves M.M., Flexas J., Pinheiro C. 2009 Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell *Annals of Botany* 103:551-560
- 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* 57 304-311
- Lopes S.M., Reynolds M.P., McIntyre C.L., Mathews Ky 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 *Theor Appl Genet* 126:971-984
- Teulat B., Borries C., This D., 2001 New QTLs identified for plant water status , water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in a barley population grown in a growth-chamber under two water regimes *Theor Appl Genet* 103:161-170
- Lelley J. 1963 : A nemesítés módszerei In: Lelley J., Mándi GY (Szerk) : A búza *Triticum aestivum* L. Kultúrflóra sorozat 19. Budapest Akadémiai Kiadó pp233-240
- 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: 293-299

## 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 (P=5%).**

| <b>Genotípus</b> | <b>Depresszió</b> | <b>Genotípus</b> | <b>Depresszió</b> | <b>Genotípus</b> | <b>Depresszió</b> | <b>Genotípus</b> | <b>Depresszió</b> |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                  | (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 (P=5%).**

| 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      | 4,645bc    |
| PC108     | 3,115ab    | PC35      | 3,89 bc    | PC149     | 4,285bc    | PC147     | 4,675bc    |
| PC145     | 3,235ab    | PC86      | 3,895bc    | PC58      | 4,295bc    | PC133     | 4,685bc    |
| PC91      | 3,24 ab    | PC216     | 3,9 bc     | PC50      | 4,31 bc    | PC110     | 4,695bc    |
| PC142     | 3,305ab    | PC121     | 3,905bc    | PC171     | 4,315bc    | CP3       | 4,705bc    |
| PC82      | 3,33 ab    | PC84      | 3,915bc    | PC52      | 4,32 bc    | PC75      | 4,705bc    |
| 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      | 4,735bc    |
| 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    |           |            |

**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 (P=5%).**

| 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 (P=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 deszikált 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 (P=5%).

| 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 (P=5%).

| 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 tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a diplomadolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem.

A szakdolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem.**

Gödöllő, 2013. október 15.

.....  
hallgató aláírása  
Nagy Éva

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a felhasznált irodalmat a hallgató korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezelte, a szakdolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom.

A diplomadolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem.**

Gödöllő, 2013. október 15.

.....  
témavezető aláírása  
Dr Pauk János