



Szent István Egyetem

**A szárazságstressz morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai hatásának
tanulmányozása durumbúzában**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Bányai Judit

Martonvásár

2017

1 A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

A szélsőséges klimatikus események gyakoriságának fokozódásával nemcsak az ökológiai régiók, de az évjáratok közti változékonyság is megnőtt. A növekvő népesség élelemmel való ellátása miatt szinte versenyfutáshoz hasonlítható a biológusok és növénynemesítők erőfeszítése annak érdekében, hogy a nagyobb produktivitással egy időben minél jobb adaptációs képességű genotípusokat hozzanak létre.

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

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

Napjainkra a zöld forradalom betöltötte szerepét, időben és régióként eltérő módon, de jelentősen hozzájárult a növényi produktivitás növeléséhez. A jövőbeni célokat csak a hagyományos módszerekkel, az eddig használt technológiákkal nem lehet megvalósítani, új módszerek alkalmazására van szükség. A molekuláris biológia eredményeinek nemesítésben történő felhasználása az egyik nagy lehetőség az új kihívásokkal szemben. Mennyiségi tulajdonságokért felelős régiók (QTL) azonosítása, gén expressziós vizsgálatok, molekuláris és biokémiai mechanizmusok tanulmányozása képezhetik az alapját olyan szárazságtűrő genotípusok kiválogatásának, amelyek képesek víz deficit esetén is megfelelő hozam elérésére.

A négyéves kísérleti munkában (2011-2014) 188 különböző tavaszi durumbúza fajta és nyolc durumbúza közel izogén törzs elvetésével vizsgáltuk a szárazságstressz hatását szántóföldi körülmények között. Négy megközelítés kombinációját alkalmaztuk: vizsgáltuk a növények szárazságstresszre adott válaszreakcióját természetes csapadékellátottságú és öntözött kísérletekben, rögzítettük az időjárási adatok alakulását a tenyészidő folyamán, nyomon követtük a talajban bekövetkező változásokat és térképeztük a szárazságtűréssel kapcsolatban álló genetikai régiókat. A növény-környezet-talaj-genetika négyes kombinációjának együttes vizsgálatával célul tűztük ki:

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

2 ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Növényanyag

Disszertációmban az *EU FP7 DROPS (FP7-244374)* pályázat durumbúza kísérleteinek genotípusait vizsgáltam. A 188 durumbúza genotípust (*T. durum* Desf.) tavaszi vetésben öntözött és természetes csapadékelátottságú ismétlésekben (GWA panel) vetettük el. A kísérletek olyan különböző országokból (Olaszország, Mexikó, Marokkó, Spanyolország, Szíria, Tunézia, USA) származó fajtákat, tájfajtákat és törzseket tartalmaztak, melyeket az elmúlt 40 év során széles körben használtak a Mediterrán országok nemesítői. Kísérletbe vonásuk alapja közel azonos virágzási idejük, melynek célja az volt, hogy a kezelések, felvételezések és mérések időpontja azonos fejlődési stádiumában érje a növényeket. Ez segített annak elérésében, hogy összehasonlíthatóvá váljanak a vizsgálatba vont genotípusok, valamint pontosabban meghatározható volt a stresszre történő különböző vagy éppen azonos válaszreakciójuk. A 188 fajtából magas terméshozam alapján kiválasztásra került 20 genotípus (Core panel), melyeket részletesebben vizsgálatunk a kísérleti években. 2013-ban és 2014-ben szántóföldi, valamint 2014-ben elhúzható esővédő polietilén tetővel rendelkező kísérleti területen vizsgáltunk nyolc tavaszi durumbúza közel izogén törzset, melyek a 'Kofa' x 'Svevo' tavaszi durumbúza keresztezés négy különböző rekombináns beltenyésztett vonalából származnak.

2.2 Szántóföldi és az esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérletek

A 2011-ben 100, 2012-2013 években 188 genotípusból álló durumbúza kísérlet (GWA panel) öt ismétlésben lett elvetve. Ebből két ismétlés öntözött (W), három ismétlés természetes csapadékelátottságú (RF) volt. 2013-ban és 2014-ben elvetésre kerülő nyolc durumbúza közel izogén törzs szántóföldi kísérletei (NILs) két vetési sűrűségben (320 csíra/m² alacsony, 480 csíra/m² normál), nyolc ismétlésben öntözött, nyolc ismétlésben természetes csapadékelátottságú volt. Nagy területi elhelyezkedéseik miatt minden évben azonos módon, nem-kiegyensúlyozott alfa-rács (unbalance incomplete alpha-lattice block design) elrendezést alkalmaztunk. Az öntözés Micro-sprinkler vízugaras öntözési technológiával, a kijutatott víz pontos mennyiségének mérése ECRN-100 0,2 mm érzékenységű csapadékmérővel történt.

Az esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti területen két különböző kezelést alkalmaztunk: (i)-öntözetlen és (ii)-öntözött az egész tenyészidő folyamán. Egy

törzsből 50 szemet vetettünk soronként, 3 cm tőtávolsággal, 15 cm sortávolsággal, így a random módon elhelyezett törzsek 12 ismétlésben szerepeltek kezelésként. Az esősátor alatt található hat kísérleti parcella (3,4 m × 5 m) egyedileg öntözhető, a területre jutó vízmennyiséget automata, csepegtető öntözőrendszer szabályozta.

A kapacitív talajnedvesség-mérők (5TE-Decagon Devices, USA) 30 és 60 cm mélységben, öt helyen lettek elhelyezve a GWA panel és nyolc helyen a NILs kísérletben. A mérőfejek keléstől aratásig óránként rögzítették a talaj nedvességtartalmát (%), hőmérsékletét (°C) és fajlagos elektromos vezetőképességét (mS/cm). Az öntözés idejének pontos meghatározása MPS-2 tenziómérővel történt.

2.3 Fenotípusos megfigyelések

A szántóföldi GWA panelben, Core panelben és NILs kísérletekben felvételezésre került tulajdonságok: korai fejlődés vizuálisan értékelve az első nádusz megjelenése előtt (Z29-31) és a 3. nádusz megjelenésekor (Z33); kalászoslási, virágzási és érési idő; növénymagasság: zászlóslevélig, kalász aljáig, kalász tetejéig, valamint kalászhossz mérése; zászlóslevél klorofilltartalmának mérése öt fenológiai fázisban; NDVI (normalizált vegetációs index) mérése három fenológiai fázisban; zászlóslevél terület; zászlóslevél relatív víztartalma; biomassa és termékeny hajtásszám mérése; zászlóslevél antioxidáns (APX-aszkorbát-peroxidáz, GPX-gvajakol-peroxidáz) aktivitásának és szabad formában lévő poliamin (PUT-putreszcin, SPD-spermidin és SPN-spermin) tartalmának meghatározása.

A növényeket a teljes érési fázisáig felneveltük és számos terméskomponenst felvételeztünk, amelyek között szerepelt a hektáronkénti szemtömeg, ezerszemtömeg, főkalász számszám, főkalász szemtömeg, főkalász alapi és csúcsi steril kalászkaszám meghatározása is.

2.4 A kísérleti évek meteorológiai adatai és a kísérleti területek vízellátottsága

2011-ben 236,8mm eső esett Martonvásáron, ami a 30 éves átlagnak (559 mm) csupán 42%-a. Márciustól június végéig, vagyis a szemtelítődés befejeződéséig, csak 102,2 mm eső hullott. A szórványos csapadék ellenére a talajnedvesség hamar lecsökkent 21-22tf%-ra, a tavaszi vetésű növények vízhiánnyal küzdöttek keléstől egészen az aratásig. Az öntözött ismétlésekben a 167mm kijuttatott öntözővíz biztosította a jó vízellátást, a tenzió -10 és -35 kPa között változott a gyökérszónában. A 2012-es évben már vetéskor száraz volt a talaj, hiszen csapadékszegény volt az előző év

tenyészidőszaka és a téli hónapok is. A talaj 30 cm-es mélységében mért talajnedvesség átlagosan 16-17tf% között alakult, a növények számára nem volt elegendő vízmennyiség az optimális fejlődéshez és terméshozam eléréséhez. Az öntözött ismétlésekben összesen 221,6mm kijutatott vízmennyiség hatására a talajnedvesség 30cm-es talajmélységben átlagosan 27tf%, 60 cm-es mélységben 25tf% volt. A csapadék eloszlása 2013-ban az áprilisi csapadékhiánytól eltekintve kedvező volt a kalászosok számára. A 2014-es évet április végétől egészen május végéig záporok, zivatarok jellemezték, a talajnedvesség virágzás után kezdett csökkenni, melyhez a május 20.-ától mért magas hőmérsékletek is hozzájárultak. A természetes csapadékelátottságú ismétlésekben a szemtelítődés idején 22tf%-nál kisebb értékek mutatják, hogy kevés víz állt a növények rendelkezésére. Az öntözött ismétlésekben a talajnedvesség az ötszöri öntözés hatására átlagosan 24tf% volt, a fajlagos elektromos vezetőképesség 0,54mS/cm.

2.5 Adatelemzés

Az évenkénti, valamint az évek együttes fenotípusos adatainak varianciaanalízisét Genstat18 szoftvercsomag lineáris véletlen/vegyes hatás modelljével elemeztük (REML-Linear Mixed Models). A vizsgált tulajdonságok és az alkalmazott kezelések közötti kölcsönhatások és összefüggések megállapításához főkomponens elemzéseket, a legjobb teljesítményű genotípus kiválasztásához főkomponens biplot elemzést végeztünk. A felvételezett paraméterek közötti kapcsolatok vizsgálatához General Linear Model (GLM) regresszió, Pearson-féle korreláció és Spearman-féle rangkorreláció számítását alkalmaztunk Statistica6 szoftvercsomag felhasználásával. A genotípusok közötti szignifikancia szint megállapításához Duncan-féle tesztet használtunk. AUSDC (Area Under SPAD value Decline Curve) és AUVIC (Area Under Vegetation Index Curve) értékek kiszámításához módosított egyenletet használtunk, mely a genotípusosan hosszabb ideig zölden maradó (Stay Green) egyedek kiválasztására adott lehetőséget. Az örökölhetőségi/ismételhetőségi értékszám kiszámításánál az additív variancia helyett közvetlenül a megállapított varianciakomponenseket szerepeltettük. A GWA panel populáció struktúráját Tassel5 program Kinship-mátrixra alapozott dendrogramjával szerkesztettük meg, a rokonsági kapcsolat elemzéséhez 25 146 SNP marker állt rendelkezésünkre.

3 EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

3.1 Szárazságstressz hatása az egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúzában

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

2011-ben és 2012-ben a magas hőmérsékletek és a kevés csapadék együttes hatásaként, szignifikánsan kisebb morfológiai, fiziológiai és hozamértékeket mértünk a természetes csapadékkellátottságú ismétlésekben. A kevés csapadék mellett a 30 C°-nál magasabb napi maximum hőmérsékletek száma növekedett, így az öntözéssel fenntartott optimális talajnedvesség ellenére, a hőstressz a jó vízellátottságú kísérletekben is hozzájárult a szenescenciához.

Szárazságstressz során a kalászolási idő genotípusonkénti, valamint a hozammal való korrelációjának változatosságából arra következtethetünk, hogy a kalászolási idő elsősorban a fajták adaptációs mechanizmusát mutatja és a hozammal való összefüggése csak viszonylagos, a környezettől függő. A 2011-es év száraz tenyészidőszakában találtunk olyan fajtákat, amelyeknek későbbi kalászolási ideje magasabb hozammal párosult, a következő években azonban ezt nem tudtuk igazolni. Ennek fő oka a genotípus \times környezet interakciója, mely eltérő genotípusos választ eredményez a klímakomponensek (hőmérséklet, csapadék) és a talajszerkezet változatossága miatt. A kalászolási idő plaszticitását igazolja az a tény is, hogy esetünkben az évjárat a fenotípusos variancia 41,4%-át magyarázta. Azokban a környezetekben, ahol a szem telítődési ideje a szárazság okozta korai szenescencia miatt rövidülhet, a korai kalászolás és az életciklus befejezése a terminális hő- és szárazságstressz előtt hozam-pozitív alkalmazkodási mechanizmusnak tekinthető. Azonban azok a genotípusok, amelyek későbbi kalászolási, virágzási és érési idővel rendelkeznek, magasabb biomassza akkumulációra és tartaléktápanyag képzésre

képesek optimális körülmények között. A későbbi érésű és magasabb genotípusoknak több idejük és kapacitásuk van az asszimiláták felhalmozására, mely magasabb hozamban realizálódik, ezt igazolta a kísérleteinkben kimutatott, a magassági és az egyedfejlődési paraméterek hozammal való szoros korrelációja.

Kísérletünkben a növények különböző fenofázisaiban fellépő szárazságstressz hatására a magas hozammal rendelkező fajtákat későbbi kalászolási idő, korai viaszéréskori magasabb klorofilltartalom (SPAD83) és hosszabb szár jellemezte. Érdekes módon a magas 'Cham-1', 'Quadalete', 'Karim' fajták nagyobb hozamot tartottak fent optimális és stresszkörülmények között is, mely elérését számos közvetett tulajdonság is segíthette (mélyebb, kiterjedt gyökérrendszer, hosszabb ideig fotoszintetikusán aktív zöld növényi felület). Azonosítottunk olyan nagy termésű, magas genotípusokat is ('Marjana', 'Miki-1', 'Svevo', '1807' törzs), amelyek szárazságstressz hatására a megnövekedett evapo-transzspiráció következtében jelentős hozamcsökkenéssel reagáltak mindkét aszályos évben, jól alátámasztva a stresszválasz összetett és eltérő szabályozási mechanizmusait.

Optimális vízellátottság esetén a magas hozamú genotípusok nagyobb ezerszem-tömeeggel és ezzel együtt teltebb szemekkel rendelkeztek. A hozam kialakulását legnagyobb mértékben a különböző terméskomponensek befolyásolták, azaz bármelyik paraméterre történő szelekció hozzájárulhat a termés növekedéséhez. Főkomponens analízis során, a terméshozam szignifikáns pozitív korrelációja a szemtelítődés idejével, a főkalász szemszámával, szemtömegével és az ezerszem-tömeeggel igazolta, hogy ezek a tulajdonságok hozzájárultak a hozam kialakulásához szárazságstressz során is, ezért figyelembevételük a szelekciónál alapvető fontosságú. Ezek az eredmények tovább erősítik azt a tényt, mely szerint a hozam alapú szelekcióval, szimultán módon, termést és abiotikus stressz adaptációt növelő gének is kiválasztásra kerülhetnek. Ezzel szemben, ha csak néhány, a szárazságtűrés fiziológiai folyamatait befolyásoló jelentősebb tolerancia génre koncentrálnak, növelhetjük ugyan a szárazságtűrést, de ronthatjuk a hozamteljesítményt.

A jó vízellátottságú, öntözött kísérletek összehasonlító biplot elemzése során a 'Cham-1' fajta és a 'CIMMYT-222' törzs illeszkedett a legközelebb az 'ideális' genotípushoz. Ugyanakkor a természetes csapadékellátottságú ismétlésekben azonosított nagy termésátlaggal és évenkénti kis variabilitással rendelkező fajták és törzsek ('CIMMYT23', 'CIMMYT73', 'Aghrass-1', 'Awali-1', 'BLK-2', 'Ouser1-1') szintén megtalálhatóak voltak az abszcissza pozitív oldalán. Szárazságstressz hatására a

felvételezett paraméterek faktor-változó korreláció mintázata alapján a termés hozam a fertilis oldalhajtásszámmal is összefüggést mutatott, valamint pozitív asszociáció alakult ki a későbbi fenofázisokban (Z83 és Z85) mért klorofilltartalommal. 2011-ben a magas produktív oldalhajtásszám, magas szemszámmal párosult, s így kompenzálta a szemtömeg csökkenéséből eredő veszteséget. Azok a genotípusok, amelyek szárazságstressz során megőrzik részben vagy egészben fertilis oldalhajtásszámukat, valószínűleg kedvező gyökértulajdonságokkal (gyökerek tömege, vastagsága és hossza, gyökér/hajtás arány, az elágazások vagy a gyökércsúcsok száma) rendelkeznek. A változók közötti szignifikáns szintű kapcsolat igazolta azt is, hogy a főkalászok szemszámát és szemtömegét az alapi és csúcsi steril kalászkák aránya szignifikánsan befolyásolta. Az aszályos években a fajták steril kalászkaszám aránya növekedett, a kalászok bazális részén nagyobb mértékben. A környezeti faktorok, hőmérséklet, fény és a talaj agronómiai tulajdonságai jelentős befolyást gyakorolnak a kaláson belüli megtermékenyülési viszonyokra, melyek a fajták steril kalászkaszám arányának évenkénti variabilitását is okozták. A fiatal kalászok megtermékenyülése és ezen keresztül a kalásonkénti szemszám kialakulása egészen a virágkötésig tartó periódusig köthető. Ezt támasztja alá a steril kalászkaszámra gyakorolt szignifikáns szintű évjárat és kezeléshatás eredménye az öntözetlen kísérleteinkben.

A későbbi fenofázisokban (Z83, Z85) mért SPAD, NDVI értékek és a termés hozam szignifikáns pozitív korrelációja mutatja, hogy aszályos körülmények között ezekben a fejlődési stádiumokban alakul ki a genotípusok között a legnagyobb variabilitás. A SPAD83, SPAD85 értékek a virágzáskor és a korai viaszéréskor mért NDVI értékekkel együtt voltak a 'stay green' tulajdonságot jellemző AUSDC és AUVIC paraméterek fő meghatározói. A Z83 fejlődési stádiumban magas normalizált vegetációs indexszel, s így hosszabb vegetációs periódussal rendelkező genotípusok ('Ouaserl-1', 'Quadalete-1', 'Kofa', 'Meridiano') évenkénti vegetációs aktivitásának stabilitása változó volt, mely a varianciaanalízisekben kimutatott alacsony genotípus és magas évjáráthatásban is megmutatkozott. Ennek ellenére ezek a genotípusok alapvetően magasabb értékekkel voltak jellemezhetők a legtöbb környezetben.

Sikerült olyan fajtát is azonosítanunk ('Cham-1'), amely szárazságstressz alatt is fenn tudja tartani vegetációs aktivitásának stabilitását évről évre, s így nagyobb teljesítményre képes. Ennek háttérében különböző morfo-fiziológiai tulajdonságok állnak (a mélyebb talajrétegben meglévő nedvességet is elérő gyökerek, hatékony fotoszintetizáló és transzspirációs rendszer), melyek a 'stay green' karakter alapját

képezik, s 'piramidálásukkal' lehetővé válik a genotípusok agronómiai teljesítményének további növelése.

3.2 Asszociációs elemzés

Dolgozatomban a 188 fajtát jellemző SNP térkép felhasználásával elvégeztük az asszociációs panel populáció struktúrájának vizsgálatát, valamint a hozamhoz, kalászolási időhöz, morfológiai és fiziológiai tulajdonságokhoz kapcsolható QTL (quantitative trait loci) régiók azonosítását különböző vízellátottság esetén. Az elemzések során arra szerettünk volna választ kapni, hogy van-e a klorofilltartalmat jellemző SPAD, valamint a kalászolási időt, morfológiai tulajdonságokat és hozamkomponenseket jellemző fenotípusos értékeknek közös QTL régiója? Ennek érdekében, 10 agronómiai és 5 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalmat jellemző tulajdonság fenotípusos vizsgálatát végeztük el természetes csapadékelátottságú és öntözött kísérletekben. A rokonsági kapcsolat elemzéséhez a rendelkezésünkre álló 25 146 SNP marker felhasználásra került. Az elemzés során öt alcsoport különült el, melyek mindegyike tartalmazott legalább három fajtát a 20 genotípusra szűkített Core panelből. Az asszociációs elemzés során a $-\log_{10}p \geq 2$ szignifikancia küszöböt ($p=0,01$) alapul véve összesen 642 szignifikáns marker-csoport-tulajdonság asszociációt mutattunk ki, tulajdonságonként átlagosan 42-öt. Ezek a csoportok magukba foglalták azokat a szignifikáns SNP markereket, amelyek egymástól maximum 20 cM távolságon belül helyezkedtek el a kromoszómán. 470 marker-csoport (73,32%) csak egyedi környezetben jelent meg, azaz a vizsgált évek valamelyik kezelésében. Három vagy több környezetben 27 marker-csoportot (4,21%) azonosítottunk. Ezek a csoportok többségükben a magasság különböző paramétereire, egyes terméskomponensekhez és a mért klorofilltartalomhoz (SPAD45, SPAD77) voltak köthetőek. A 188 genotípus vizsgálata során 68 hozamhoz kapcsolódó marker-csoport régiót mutattunk ki, ebből 48 olyan régiót találtunk, melyek csak egyedi környezetben jelentek meg. Hat olyan régiót azonosítottunk, amelyek vagy csak a természetes csapadékelátottságú vagy csak az öntözött kezeléseknél kapcsolódtak a hozamhoz. A 3B kromoszóma 82,5 cM régiója LOD2,5 szignifikancia szint esetén mindkét évben, LOD3 küszöbnél 2011-ben is jellemezte a hozamot öntözött kezelésében. Ennek a kromoszómának a 74-90 cM közötti régiója 2013-ban LOD2,5 szignifikancia szintnél is kapcsolódott a Z83 fejlődési stádiumban mért klorofilltartalomhoz (SPAD83), valamint a kalász tetejéig

mért magassághoz jó vízellátottság esetén. Az 5A kromoszóma 192-200 cM régiójához a termés hozam természetes csapadékellátottságnál térképeződött. Ide kapcsolódott a kalászolási idő és a viaszérés végén (Z85) mért klorofilltartalom szintén mindkét évben. Az ezerszemtömeget 36 marker-csoporthoz tudtuk kapcsolni, azonban nem találtunk olyan régiót, amely kezelés függő lett volna. A jellemző az volt, hogy egyedi környezetben vagy évjáraton belül mindkét kezelésben kimutatható volt az ezerszemtömeget jellemző marker-csoport régió, melyhez nagy számban a szemszélesség is kapcsolódott. A kalászolási időt 68 marker-csoport régió jellemezte, ebből 49 egyedi környezetben. Nyolc olyan régió volt, ami mind a két évben megjelent vagy az öntözetlen vagy az öntözött kezelésben. A kalászolási idő a virágzáskor mért klorofilltartalommal együtt térképeződött az 1B kromoszóma 81-95 cM régiójára természetes csapadékellátottság esetén, a 2B kromoszóma 47-56 cM (PPD-B1) régiójára pedig a termés hozammal 2013 mindkét kezelésében. Összesen 24 olyan marker-csoportot találtunk, ahol a kalászolási idő és a termés egy régióhoz kapcsolódott az adott év azonos kezelésén belül. Kalász hasban (Z45) és korai viaszéréskor (Z83) mért klorofilltartalom esetén nem azonosítottunk kezeléstől függő marker-csoport régiót. Z65, Z77 és Z85 fejlődési fázisban történt klorofilltartalom mérési eredmények viszont több kromoszómára (1B, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 6B) is térképeződtek, kezeléstől függően. Komplex tulajdonságok két kromoszóma esetén térképeződtek azonos marker-csoport régióhoz, az 1B kromoszóma 81-95 cM régiója és az 5A kromoszóma 192-200 cM régiója esetén mindkét évben, természetes csapadékellátottság esetén. A 2A kromoszóma 198-211 cM régiójához kapcsolódott a SPAD85 tulajdonság természetes csapadékellátottság esetén, valamint az ezerszemtömeg és szemszélesség tulajdonságok kezeléstől függetlenül.

3.3 Szárazságstressz hatása a morfológiai, fiziológiai, biokémiai és termésbiológiai tulajdonságokra durumbúza közel izogén törzsekben

Részletesen jellemeztük a tavaszi durumbúza izogén törzsek egyedfejlődési, morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságainak változását két egymást követő évben szántóföldön, eltérő vetéssűrűség alkalmazása mellett (2013-2014), illetve esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti területen (esősátor alatt) egy tenyésztéskorban (2014). Összehasonlítottuk a *QYld.idw-3B++* és *QYld.idw-3B--* izogén párok tulajdonságait párokon belül és párok között. Vizsgáltuk a termés hozam QTL-ekre szelektált izogén törzsek szárazságtoleranciáját, valamint a QTL hatás

jelenlétét tavaszi vetésben. Megvizsgáltuk a zászlóslevél poliamin tartalmának és antioxidáns enzim aktivitásának változását szárazságstressz hatására, valamint elemeztük e stresszvédő vegyületek és a termés hozam közötti kapcsolatot.

A szántóföldi kísérletek során alacsony talajnedvesség és magas hőmérsékleti értékek a tejesérés megkezdésétől voltak mérhetőek. Az esővédő polietiléntetővel rendelkező kísérleti területen lévő öntözetlen ismétlések növényei a teljes tenyészidőszak folyamán erős szárazságstressznek voltak kitéve, mely hatással volt a virágzat kialakulására, a termékenyülésre és a szemtermés mennyiségére. Az erős stressz hatására a levelek sárgulása a teljes állományban már virágzás után elkezdődött, jelezve a korai öregedést, ezen belül azonban az egyes közel izogén törzsek különböző mértékű klorofilltartalom csökkenéssel reagáltak. A *QYld.idw-3B++* izogén törzsekben az átlagos klorofilltartalom szignifikánsan magasabb értékét detektáltunk a Z77, Z83 és Z85 fejlődési stádiumban, a *QYld.idw-3B--* törzsek öntözött és öntözetlen kezelésben is alacsonyabb klorofilltartalommal rendelkeztek. Közepes erősségű stressz esetén (a szántóföldi kísérletben) korai viaszérés során alakult ki a NIL++ és NIL-- párok közötti különbség, mely jelezte, hogy a vizsgált *QYld.idw-3B++* QTL-régió hosszabb perióduson át tudja fenntartani a fotoszintetikus aktivitást, s így az magasabb szemszámban és szemtömegben realizálódik a tenyészidőszak végén. A ZD45, ZD65, ZD77 és ZD83 fejlődési stádiumban mért zászlóslevél klorofilltartalom a főkalász szemszámaival és szemtömegével, míg a ZD85 fejlődési fázisban a mellékkalász szemszámaival és szemtömegével korrelált szignifikánsan, mely szintén megerősíti ezt a feltételezést. Kísérletünkben kimutatható volt a szárított biomassza-tömeg szignifikáns pozitív kapcsolata a termékkel és termékkomponensekkel, a magassági paraméterekkel, így genetikai variabilitása lehetőséget kínál a nemesítésben való felhasználására szárazságstressz során. A szemtermés alakulását erősen befolyásolta a kezelés, míg a genotípus a főkalász ezerszem-tömegére, valamint a mellékkalász szemszáma és szemtömegére volt szignifikáns hatással. Összehasonlítva a törzseket az öntözetlen kezelésben, szignifikánsan több szem és szignifikánsan nagyobb szemsúly volt mérhető a főkalászban a NIL1++ és NIL2++ törzsek esetén, míg a NIL1++ és NIL3++ törzsek a mellékkalászban rendelkeztek szignifikánsan nagyobb szemszámmal és szemtömeggel. Ez is igazolja annak a lehetőségét, hogy a *QYld.idw-3B++* törzsek magasabb hozama a 3B kromoszómán lévő Kofa QTL pozitív hatásának köszönhető, szárazságstressz során, tavaszi vetésben. Az alacsony vetési sűrűség, mely megteremtette a növények számára a nagyobb tenyészterületet, egyértelműen pozitív,

szignifikáns hatással volt a szemtermésre, a kalásonkénti szemtömegre és szemszélességre. Ezt számos közvetett tulajdonság segíthette (magasabb klorofilltartalom és NDVI érték, hosszabb szár, nagyobb gyökérzet), s mutatja, hogy azok a genotípusok, amelyek jó bokrosodási képességgel rendelkeznek, alacsonyabb vetési sűrűségnél jobban tudnak teljesíteni. Ezt segíti valószínűleg a jobb víz-, napsugárzás- és nitrogénhasznosítás is.

Kísérletünkben a zászlóslevelek APX aktivitásának csökkenése az öntözetlen kezelésben hasonló nagyságú volt az izogén vonalakban. Ezzel szemben a zászlóslevelek magasabb GPX aktivitását mértük minden törzs esetén az öntözetlen kezelésben a jó vízellátottságú ismétlésekhez képest. Ezzel párhuzamosan az APX aktivitás szignifikáns negatív korrelációt mutatott a fő és mellékkalász szemtömegével, a zászlóslevél területtel és a spermidin tartalommal száraz körülmények között. A GPX aktivitás ugyancsak negatív korrelációt mutatott számos terméskomponenssel, alátámasztva ezeket az enzimeket a stressz válaszban betöltött szerepét.

Kísérletünkben a poliaminok akkumulációja megnőtt az izogén törzsek zászlósleveleiben szárazságstressz során, legnagyobb mértékben a putreszin, spermidin és spermin esetén, a három poliamin tartalom között pedig szignifikáns, pozitív összefüggést mutattunk ki. Ugyancsak szignifikáns, pozitív korrelációt találtunk a poliamin tartalom és a főkalász szemszáma, szemtömege között az öntözetlen kezelésben.

3.4 Új tudományos eredmények

1. Kialakítottunk egy komplex szántóföldi fenotipizálási rendszert, mely a növény-környezet-talaj-genetika négyes kombinációjának együttes vizsgálatával pontos képet adott az egyes paraméterekben bekövetkező változások nagyságáról, a szárazságstressz okozta morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok alakulásáról. Ez a rendszer a későbbiek során is felhasználható a nagy területigényű szántóföldi kísérletek vizsgálata során.
2. Igazoltuk, hogy a tavaszi durumbúza genotípusok vizsgált morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságaira az évjárat és a vízellátottság befolyásoló hatása volt a legnagyobb, még a magas ismételtetőségi (h^2) értéksszámmal rendelkező paraméterek esetén is. Kivételt képezett ez alól az

ezerszemtömeg, melynél a három év eredménye szárazságstressz esetén is ennek a tulajdonságnak a nagy stabilitását mutatta.

3. Kimutattuk a korai viaszérés stádiumában (Z83) mért SPAD, NDVI értékek és a termés hozam szignifikáns pozitív korrelációját aszályos körülmények között. Ebben a fenofázisban azonosítottunk olyan magasabb zászlóslevél klorofilltartalommal rendelkező genotípusokat, melyeknek szenescenciája késleltetett volt és ez magasabb termés hozamban realizálódott.
4. Meghatároztuk a durumbúza GWA panel populáció struktúráját, valamint összeállítottuk LD térképét a 90K SNP Infinium markerező platformból származó 5879 SNP marker alkalmazásával.
5. A teljes genomra kiterjedő asszociációs elemzéssel egyedi környezetben megjelenő, évjárattól vagy kezeléstől függő kromoszómarégiókat azonosítottunk, amelyek szerepet játszanak a morfológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságok szabályozásában. Két marker-csoport régiót azonosítottunk, melyekben a zászlóslevél klorofilltartalom és a kalászolási idő QTL-jei együtt kapcsolódtak (1B, 5A), az 5A kromoszóma esetén a kimutatott régióhoz a termés hozam QTL-je is kötődött.
6. Igazoltuk a *QYld.idw-3B++* tavaszi durumbúza izogén törzsek zászlósleveleink hosszabb perióduson át fenntartott fotoszintetikus aktivitását, és ezáltal a *QYld.idw-3B* QTL régió termés hozamra kifejtett szignifikáns hatását két éves szántóföldi kísérletben.
7. Kimutattuk a vizsgált stresszvédő vegyületek mennyiségének és aktivitásának szignifikáns változását közel izogén tavaszi durumbúza törzsekben elégtelen vízellátottság hatására, így alátámasztottuk a vizsgált vegyületek stressz válaszban betöltött szerepét szántóföldi körülmények között. Igazoltuk az aszkorbát-peroxidáz és gvajakol-peroxidáz enzimek aktivitásának negatív, valamint a poliamin tartalom szignifikáns, pozitív korrelációját számos termés komponenssel.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

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

a komplexitás negatívan befolyásolja a jelentősen eltérő termesztési környezetekben való terméshozam előrejelzését és modellezését.

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

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

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

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

A SZERZŐ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓI

Tudományos publikációk:

Nemzetközi tudományos folyóiratokban megjelent publikációk:

Bányai, J., Szűcs, P., Karsai, I., Mészáros, K., Kuti, C., Láng, L., Bedő, Z. (2006): Identification of winter wheat cultivars by simple sequence repeats (SSRs). *Cereal Research Communications*, 34 (2-3) 865-870.

Mészáros, K., Karsai, I., Kuti, C., **Bányai, J.**, Láng, L., Bedő, Z. (2007): Efficiency of different marker systems for genotype fingerprinting and for genetic diversity studies in barley (*Hordeum vulgare* L.). *South African Journal of Botany*, 73 (1) 43-48.

Bányai, J., Karsai, I., Balla, K., Kiss, T., Bedő, Z., Láng, L. (2014): Heat stress response of wheat cultivars with different ecological adaptation. *Cereal Research Communications*, 42 (3) 413-425.

Kiss, T., Balla, K., **Bányai, J.**, Veisz, O., Karsai, I. (2014): Effect of different sowing times on the plant developmental parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 42 (2) 239-251.

Spitkó, T., Nagy, Z., Tóthné Zsubori, Z., Halmos, G., **Bányai, J.**, Marton, L.C. (2014): Effect of drought on yield components of maize hybrids (*Zea mays* L.). *MAYDICA*, 59 (2) 161-169.

Mészáros, K., Éva, C., Kiss, T., **Bányai, J.**, Kiss, E., Téglás, F., Láng, L., Karsai, I., Tamás, L. (2015): Generating marker-free transgenic wheat using minimal gene cassette and cold-inducible Cre/lox system. *Plant Molecular Biology Reporter*, 33 (5) 1221-1231.

Bányai, J., Maccaferri, M., Cané, M.A., Monostori, I., Spitkó, T., Kuti, C., Mészáros, K., Láng, L., Pál, M., Karsai, I. (2017): Phenotypical and physiological study of near-isogenic durum wheat lines under contrasting water regimes. *South African Journal of Botany*, 108 248-255.

Hazai tudományos folyóiratokban megjelent publikációk:

Bányai, J., Láng, É.J., Bognár, Z., Kuti, C., Spitkó, T., Láng, L., Bedő, Z. (2012): Changes in the yield components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) during irrigation controlled by soil sensors. *Acta Agronomica Hungarica*, 60 (4) 309-317.

Kuti, C., Láng, L., Megyeri, M., **Bányai, J.**, Bedő, Z. (2013): It background of the medium-term storage of Martonvásár Cereal Genebank resources in phytotron cold rooms. *Acta Agronomica Hungarica*, 61 (1) 71-77.

Egyéb tudományos művek:

Konferencia kiadványok (Proceedings):

Bányai, J., Tóth, V., Mayer, M., Láng, L., Bedő, Z. (2013): Durum búza terméskomponenseinek és egyes fiziológiai paramétereinek vizsgálata. In: Janda T (szerk.) II. ATK Tudományos Nap: Velünk Élő Tudomány (A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából) Martonvásár, 2013.11.08. MTA Agrártudományi Kutatóközpont, 174-177.

Bányai, J., Pál, M., Spitkó, T., Láng, L., Bedő, Z. (2014): Stresszvédő vegyület vizsgálata durum búza közel izogén vonalakban szárazság stressz során. In: Veisz Ottó (szerk.) Növénynevelés a megújuló mezőgazdaságban: XX. Növénynevelési Tudományos Nap, 2014.03.18. Budapest: MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Bizottsága, 65-69.

Bányai, J., Láng, L., Mayer, M., Tóth, V., Kuti, C., Mészáros, K., Karsai, I. (2017): Identifying superior durum wheat genotypes (*Triticum durum* Desf.) under rain-fed conditions. 13th International Wheat Genetics Symposium, 2017.04.23-28, Tulln, Ausztria, 315.

Konferencia absztraktok:

Bányai, J., Kiss, T., Mészáros, K., Láng, L., Bedő, Z. (2012): Durum búza klorofill-tartalmának kapcsolata egyes terméskomponensekkel. In: Veisz Ottó (szerk.) XVIII. Növénynevelési Tudományos Napok, Budapest, Magyarország, 2012. 03. 06.: Összefoglalók Budapest: MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Bizottsága, 60.

Bányai, J., Gizaw, A.S., Mészáros, K., Lang, L., Bedo, Z. (2012): Relationship between chlorophyll content and yield parameters of durum wheat (*Triticum Durum* desf.) under rainfed and irrigated condition. In: Bedő Z, Láng L (szerk.) Plant Breeding for Future Generations: Proceedings of the 19th EUCARPIA General Congress, Budapest, Hungary, 21-24. 05. 2012. Martonvásár: Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, 371.

Bányai, J., Bognár, Z., Mayer, M., Láng, L., Bedő, Z. (2013): Durum búza NDVI-értékének kapcsolata egyes terméskomponenssel. In: Hoffmann B, Kollaricsné Horváth M (szerk.) XIX. Növénynevelési Tudományos Nap: Összefoglalók, Keszthely, Magyarország, 2013.03.07. Budapest: MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Bizottsága, 78.

Bányai, J., Bognár, Z., Joó, Sz., Spitkó, T., Láng, L., Z. Bedő, Z. (2014): Usability of selection indices of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes in Hungary. In: Lohwasser U, Börner A (szerk.) Cereals for Food, Feed and Fuel, Challenge for Global Improvement: Eucarpia Cereals Section - ITMI Joint Conference, Book of Abstract. Wernigerode, Németország, 224.

Bányai, J., Mészáros, K., Mayer, M., Tóth, V., Spitkó, T., Monostori, I., Láng, L., Bedő, Z. (2015): Fiziológiai paraméterek és terméskomponensek kapcsolata közel izogén durumbúza törzsekben szárazság stressz során. In: Veisz Ottó (szerk.) XXI. Növénynevelési Tudományos Napok: Összefoglalók. 155 p. Konferencia helye, ideje: Martonvásár, Magyarország, 2015.03.11-2015.03.12. Martonvásár: MTA ATK, 59.

Bányai, J., Pál, M., Monostori, I., Mayer, M., Tóth, V., Kiss, T., Mészáros, K., Karsai, I. (2016): QY1d.idw-3B QTL-régió kapcsolata fenológiai, fiziológiai és termésbiológiai tulajdonságokkal közel izogén durumbúza törzsekben szárazságstressz során. In: CSikász Tamás, Szekeres Péter (szerk.), Dunántúli Mazőgazdaság-Tudományi Fórum (DMF2016) Iregszemcse 80 Éve: Új irányok és eredmények a mezőgazdaságtudományban. 42 p. Konferencia helye, ideje: Iregszemcse, Magyarország, 2016.10.11 (Kaposvári Egyetem) 20-21.

Bányai, J., Pál, M., Monostori, I., Mayer, M., Tóth, V., Mészáros, K., Bedő, Z., Láng, L., Karsai, I. (2016): Stresszvédő vegyületek és terméskomponensek kapcsolata közel izogén durumbúza törzsekben szárazságstressz során. In: Veisz Ottó, Polgár Zsolt (szerk.) XXII. Növénynevelési Tudományos Nap. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.03.10 Budapest: Magyar Tudományos Akadémia, 69.

Bányai, J., Láng, L., Kiss, T., Mayer, M., Tóth, V., Mészáros, K., Bedő, Z., Karsai, I. (2017): Szárazságstressz hatásának vizsgálata durumbúzában. In: Veisz Ottó (szerk.), XXIII. Növénynevelési Tudományos Nap. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017.03.07 Budapest: Magyar Tudományos Akadémia, 58.

A doktori iskola megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

Vezetője: Prof. Dr. Helyes Lajos
Intézetigazgató, Egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság-és Környezettudományi Kar,
Kertészeti Technológiai Tanszék

Program: Növénygenetika, növénynemesítés és
növénybiotechnológia

Témavezető: Dr. Karsai Ildikó
Tudományos tanácsadó, az MTA doktora
MTA Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet
Molekuláris Nemesítési Osztály

Dr. Láng László
Tudományos tanácsadó, az MTA doktora
MTA Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet
Kalászos Gabona Nemesítési Osztály

.....
Dr. Helyes Lajos
Az iskolavezető jóváhagyása

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

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